

## 明 細 書

可視化断面を有する3次元物体が記録された計算機ホログラム、ホログラフィックステレオグラムの作成方法及び可視化断面を有する3次元物体が記録された計算機ホログラム、ホログラフィックステレオグラム

## 技 術 分 野

本発明は、可視化断面を有する3次元物体が記録された計算機ホログラム、ホログラフィックステレオグラムの作成方法及び可視化断面を有する3次元物体が記録された計算機ホログラム（CGH）、ホログラフィックステレオグラムに関し、特に、3次元測定データから構成された3次元物体を計算機ホログラム及びホログラフィックステレオグラムとして記録するに当たり、その3次元物体の任意の断面が同時に観察できるように加工して計算機ホログラム及びホログラフィックステレオグラムとして記録する方法と、そのような計算機ホログラム及びホログラフィックステレオグラムに関するものである。

## 背 景 技 術

一般に、物質の内部の構造を観察するための測定装置として、X線-CT（X-ray Computer Tomography）、MRI（Magnetic Resonance Imaging）、TEM（Transmittance electron Microscope）等があげられる。最近では、これらの測定装置によって得られる多数の断面の2次元断面像データを加工して、測定対象物の3次元構造を観察する手法が報告されている（非特許文献1）。

しかし、得られた3次元構造を表示するデバイスとしては、CRTディスプレイ等の2次元画像表示装置が用いられるため、3次元構造を表示したとしても実際には2次元画像を観察していることになる。

また、このような2次元断面像データを加工して得られる3次元構造は、3次元立体物（測定対象物）の表面データのみで構成されているため、その3次元立体像を任意の断面で切ったとき、断面部は輪郭の一部のみで示され、表示される3次元立体像に正常の断面

像を持たせることができない。

さらに、以上のような3次元構造を3次元表示媒体に記録して配布等を行うことができない。

〔特許文献1〕

特開2001-109362号公報

〔特許文献2〕

特開2002-204796号公報

〔特許文献3〕

特開2004-264839号公報

〔特許文献4〕

特開2002-72837号公報

〔特許文献5〕

特開昭52-4855号公報

〔特許文献6〕

特許第2,884,646号公報

〔特許文献7〕

特開平6-266274号公報

〔特許文献8〕

特開平7-261649号公報

〔特許文献9〕

特開2001-318578公報

〔非特許文献1〕

Phys. Rev. Lett., 84, pp. 518~521, 2000

〔非特許文献2〕

「3次元画像コンファレンス '99-3D Image Conference '99-」講演論文集CD-ROM (1999年6月30日~7月1日 工学院大学新宿校舎)、論文「EB描画によるイメージ型バイナリCGH(3)-隠面消去・陰影付けによる立体感の向上-」

〔非特許文献3〕

J. Optical Society of America, A/Vol.

1 (6), (1984), pp. 612~619

〔非特許文献4〕

「機能材料」2002年10月号 (Vol. 22, No. 10), pp. 11~19

〔非特許文献5〕

辻内順平著「物理学選書22. ホログラフィー」pp. 33~36 (株) 裳華房発行 (1997年11月5日)

〔非特許文献6〕

第20回画像コンファレンス論文集pp. 323~326 (1989)

〔非特許文献7〕

第21回画像コンファレンス論文集pp. 243~246 (1990)

〔非特許文献8〕

第23回画像コンファレンス論文集pp. 317~320 (1992)

### 発 明 の 開 示

本発明は従来技術のこのような問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、表面データのみで構成されている3次元立体物を任意の断面で切ったときに、その断面部にも表面データを持たせて可視化し、その3次元立体物データから可視化断面を有する3次元物体が再生可能に記録された計算機プログラムを作成する方法とそのような計算機プログラム自体を提供することである。

本発明の別の目的は、そのような可視化断面を有する3次元物体が再生可能に記録されたホログラフィックステレオグラムを作成する方法とそのようなホログラフィックステレオグラム自体を提供することである。

上記目的を達成する本発明の可視化断面を有する3次元物体が記録された計算機プログラムの作成方法は、可視化断面を有する3次元物体が記録されている計算機プログラムの作成方法において、3次元物体の多数の2次元断面像データを取得する工程と、取得された多数の2次元断面像データからその3次元物体の表面データのみからなる3次元物体像データを作成する工程と、作成された表面データのみからなる3次元物体を所定の断面で切り出す工程と、切り出された断面にその面を表す表面データを加えてホログラムとして記録する3次元物体の形状を定義する工程と、定義された3次元物体とホログラム面と参

照光との配置を定義してホログラム面上での干渉縞を求める工程と、得られた干渉縞を記録媒体上に記録する工程とを含むことを特徴とする方法である。

この場合に、3次元物体の多数の2次元断面像データは、例えば、X線-CT、MRI又はTEMによって得られたものとして行うことができる。

本発明の可視化断面を有する3次元物体が記録された計算機ホログラムのもう1つの作成方法は、可視化断面を有する3次元物体が記録されている計算機ホログラムの作成方法において、3次元物体の体積データを取得する工程と、取得された3次元物体の体積データからその3次元物体の表面データのみからなる3次元物体像データを作成する工程と、作成された表面データのみからなる3次元物体を所定の断面で切り出す工程と、切り出された断面にその面を表す表面データを加えてホログラムとして記録する3次元物体の形状を定義する工程と、定義された3次元物体とホログラム面と参照光との配置を定義してホログラム面上での干渉縞を求める工程と、得られた干渉縞を記録媒体上に記録する工程とを含むことを特徴とする方法である。

この場合に、3次元物体の体積データは、例えば、X線-CT、MRI又はTEMによって得られたものとして行うことができる。

本発明は、このような作成方法によって作成された可視化断面を有する3次元物体が記録された計算機ホログラムも含むものである。

また、本発明の可視化断面を有する3次元物体が記録された計算機ホログラムは、同一3次元物体に対して、任意の断面で切り出し、その断面を可視化した3次元物体を再生可能に記録した1個又は複数の計算機ホログラムと、断面で切り出す前の3次元物体を再生可能に記録した計算機ホログラムとが多重化されて1枚の計算機ホログラムとして記録されているものである。

この場合に、多重化されて記録されている各計算機ホログラムから再生される3次元物体の相対位置が同じになるように記録されていることが望ましい。

本発明は、以上のような作成方法によって作成された計算機ホログラムが所定位置に添付されている印刷物を含むものである。

また、本発明の可視化断面を有する3次元物体が記録されたホログラフィックステレオグラムの作成方法は、可視化断面を有する3次元物体が記録されているホログラフィックステレオグラムの作成方法において、3次元物体の多数の2次元断面像データを取得する工程と、取得された多数の2次元断面像データからその3次元物体の表面データのみから

なる3次元物体像データを作成する工程と、作成された表面データのみからなる3次元物体を所定の断面で切り出す工程と、切り出された断面にその面を表す表面データを加えてホログラムとして記録する3次元物体の形状を定義する工程と、定義された3次元物体から観察方向の異なる複数の2次元原画を作成する工程と、前記2次元原画各々に関する要素ホログラムを各々の観察方向に対応するホログラム面上の位置に1次元あるいは2次元方向に並列して記録する工程とを含むことを特徴とする方法である。

この場合、3次元物体の多数の2次元断面像データは、例えば、X線-CT、MRI又はTEMによって得られたものとして得ることができる。

本発明の可視化断面を有する3次元物体が記録されたホログラフィックステレオグラムのもう1つの作成方法は、可視化断面を有する3次元物体が記録されているホログラフィックステレオグラムの作成方法において、3次元物体の体積データを取得する工程と、取得された3次元物体の体積データからその3次元物体の表面データのみからなる3次元物体像データを作成する工程と、作成された表面データのみからなる3次元物体を所定の断面で切り出す工程と、切り出された断面にその面を表す表面データを加えてホログラムとして記録する3次元物体の形状を定義する工程と、定義された3次元物体から観察方向の異なる複数の2次元原画を作成する工程と、前記2次元原画各々に関する要素ホログラムを各々の観察方向に対応するホログラム面上の位置に1次元あるいは2次元方向に並列して記録する工程とを含むことを特徴とする方法である。

この場合に、3次元物体の体積データは、例えば、X線-CT、MRI又はTEMによって得られたものとして得ることができる。

本発明は、このような作成方法によって作成された可視化断面を有する3次元物体が記録されたホログラフィックステレオグラムも含むものである。

本発明は、以上のような作成方法によって作成されたホログラフィックステレオグラムが所定位置に添付されている印刷物を含むものである。

#### 図面の簡単な説明

図1は本発明の計算機ホログラムの作成工程を説明するためのフロー図である。

図2は3次元物体の多数の2次元断面像データを取得する工程を説明するための模式図である。

図3は3次元物体を表現するボクセルデータを作成する工程を説明するための模式図で

ある。

図4は3次元物体の形状を示すポリゴンデータを作成する工程を説明するための模式図である。

図5は表面データのみからなる3次元物体を任意の断面で切り出した様子を示す模式図である。

図6は断面にその面を表すポリゴンデータを追加して可視化する工程を説明するための模式図である。

図7は本発明の計算機ホログラムの別の作成工程を説明するためのフロー図である。

図8は多重化のためにCGH記録媒体の記録面上に複数の記録領域を定義する様子を示す模式図である。

図9はCGHを多重記録する様子を説明するための模式図である。

図10はCGHの作成過程の概要を説明するためのフロー図である。

図11はCGH記録の場合の隠面消去処理を説明するための模式図である。

図12は本発明においてCGHの作成方法として利用できるその他の計算機合成ホログラムの原理を説明するための図である。

図13は図12による計算機合成ホログラムから立体像が再生される様子を説明するための図である。

図14は図12による計算機合成ホログラムの作成方法を説明するための図である。

図15は本発明においてCGHの作成方法として利用できる別の形態の計算機合成ホログラムを説明するための図である。

図16は図15による計算機合成ホログラムから立体像が再生される様子を説明するための図である。

図17は図15による計算機合成ホログラムの作成方法を説明するための図である。

図18は本発明のホログラフィックステレオグラムの作成方法に適用するマルチドット方式によるホログラフィックステレオグラムの原理図である。

図19は本発明のマルチドット方式によるホログラフィックステレオグラムの作成システムの1例を示す概要図である。

図20は本発明のマルチドット方式によるホログラフィックステレオグラムの1例の作成工程を説明するためのフロー図である。

### 発明を実施するための最良の形態

本発明の可視化断面を有する3次元物体が記録された計算機プログラムの作成方法は、X線-CT、MRIあるいはTEM等の測定装置によって、測定対象の3次元物体の多数の2次元断面像データを得て、その多数の2次元断面像データからその3次元物体の表面データ（ポリゴンデータ）のみからなる3次元立体像をCG（コンピュータグラフィック）データとして作成し、得られたその3次元立体像を任意の断面で切ったときの断面部（この状態では、その断面に表面データ（ポリゴンデータ）を有していない。）に表面データ（ポリゴンデータ）を持たせて可視化した断面を有する3次元物体をCGデータとして作成する。その可視化した断面を有する3次元物体のCGデータから、よく知られたCGHの作成方法（例えば、非特許文献2参照）により、可視化断面を有する3次元物体が再生可能な計算機プログラムを作成する方法である。

まず、CGHの作成方法の例として、干渉縞の強度分布を記録したバイナリプログラムであって、再生像が水平方向の視差のみを持ち、上方からの白色光で観察される場合について、その概要を説明すると、図10に示すように、ステップST1で、CGH化する物体の形状が定義される。次いで、ステップST2で、物体、CGH面、参照光の空間配置が定義される。次いで、ステップST3で、物体は、水平面でのスライスにより垂直方向に分割され、さらにスライス面上で点光源の集合に置き換えられる。そして、ステップST4で、これらの空間配置に基き、CGH面上に定義された各サンプル点において、物体を構成する各点光源から到達する光と参照光との干渉縞の強度が演算により求められ、干渉縞データが得られる。次に、ステップST5で、得られた干渉縞データは量子化された後、ステップST6で、EB描画用矩形データに変換され、ステップST7で、EB描画装置により媒体に記録され、CGHが得られる。

この干渉縞の計算の際に、隠面消去処理が行われる。この隠面消去処理とは、ある視点から物体を観察したときに、手前の物体に隠される部分を見えないようにする処理であり、この処理により物体の重なり合いの情報が網膜像に付加され、立体感を得ることができる処理であり、CGH記録の場合に、次の手順により隠面消去処理が施される。

図11に示すように、物体1を構成する各点光源毎に、その点光源が物体1、2で隠される領域（図11の斜線部）を求める。図10の手順で作成されるCGHの場合は、物体1、2は水平面でスライスされ、かつ、水平方向にのみ視差を有しているため、物体1の点光源の物体1、2で隠される領域は各スライス面上での点と線分との位置関係により求

められる。CGH面上に分布する干渉縞のサンプル点が、上記で求めた点光源が隠される領域に含まれる場合（図11の黒丸部）には、そのサンプル点においてその点光源を干渉縞強度の計算対象から除外するのが、隠面消去処理である。このような処理を施したCGHの再生された物体1の像からは、図11の斜線部に再生光が回折されず、その領域に観察者の視点が入った場合、その点光源に対応する物体1の領域は物体2の像で隠されて見えなくなる。

本発明の可視化断面を有する3次元物体が記録された計算機プログラムの作成方法は、以上の例示のようなCGHの作成方法においては、図10のステップST1で定義されるCGH化する物体の形状として、まず、TEM等の測定装置で得られた多数の2次元断面像データから、表面データ（ポリゴンデータ）のみからなる3次元立体像をCGデータとして作成する。次に、得られたその表面データ（ポリゴンデータ）のみからなる3次元立体像を任意の断面で切り出す。次いで、切り出された3次元立体像の断面部は輪郭の一部のみでしか表示されないため、その切り出された3次元立体像の断面部に新たに表面データ（ポリゴンデータ）を加えて新たな面（可視化断面）を作成し、断面で切り出された3次元立体像にその新たな面を加えてCGH化する物体の形状として定義するものである。

以下、上記のCGH化する物体の形状データを定義する手順を、図を参照にして説明する。まず、図1のステップST11において、TEM等の測定装置を用いて対象の3次元物体の多数の2次元断面像データを取得する。これを模式的に示せば、図2(a)～(c)に示すように、対象の3次元物体の位置（高さ）の異なる2次元断面像データ $1_1$ 、 $1_2$ 、 $1_3$ 、 $\dots$ 、 $1_n$ を前記のTEM、X線CT、MRI等の測定装置を用いて取得する。

次に、図1のステップST12において、得られた2次元断面像データ $1_1$ 、 $1_2$ 、 $1_3$ 、 $\dots$ 、 $1_n$ を断面位置（高さ）に応じて3次元的に積み上げることにより、図3に示すように、対象の3次元物体を表現するボクセル（ボリューム）データ2を作成し、次いで、そのボクセルデータ2から、図4に示すように、その3次元物体の形状を示すポリゴンデータ（表面データ）3を作成する。

次に、図1のステップST13において、図5に示すように、作成された表面データ（ポリゴンデータ）3のみからなる3次元物体を任意の断面11で切り出す。ポリゴンデータからなる3次元物体は、物体内部から見る視点に対しては表面は見えないので、このように任意の断面11で切り出された3次元物体は表示すると、図5に示すように、破線で



示した輪郭線は表示されず、また、断面と物体表面を通して内部の視点から外を見ると、その物体表面は表示されず背景の面が見えることになる。例えば、図5の円筒の左断面5<sub>1</sub>の左の輪郭線、底の輪郭線、円筒内面の一部の輪郭線は物体内部から見ていることになるので表示されない（見えない）。図5の円筒の右断面5<sub>2</sub>の左の輪郭線、底の輪郭線は物体内部から見ていることになるので表示されない（見えない）。ただし、円筒の右断面5<sub>2</sub>を通して背景側にある円筒内面の表面（一部）は透けて見える。また、図5の円筒内の球の断面6を通して背景側にあるその球の裏面は見えないが、円筒内面の表面は透けて見える。また、図5の円筒内の直方体の断面7を通して背景側にあるその直方体の裏面は見えないが、円筒内面の表面は透けて見える。このように、ポリゴンデータ3のみからなる3次元物体を任意の断面11で切り出すと、断面部は輪郭線の一部のみが表示されるが、断面の全部の輪郭線が表示されることはなく、また、本来見えるはずがない表面像が断面を通して見えてしまう。ただし、ポリゴンデータ3を断面11で切り出す際に破線で示した輪郭線データは計算上作成されている。

そこで、次に、図1のステップST14において、断面11で切られた断面、すなわち、図5の断面5<sub>1</sub>、断面5<sub>2</sub>、断面6、7にその面を表すポリゴンデータ（表面データ）を加えて、これらの断面5<sub>1</sub>、5<sub>2</sub>、6、7で切り出した3次元立体像にその新たなポリゴンデータを追加して、図6に示すようなCGH化する3次元物体10の形状を定義する。このポリゴンデータ化された断面5<sub>1</sub>、5<sub>2</sub>、6、7を有する3次元物体10は、自然な3次元立体像のCGデータとなる。

このようにしてステップST11～14で定義された可視化された断面を有する3次元物体に対して、図10のステップST2～ST7と同様にして、可視化された断面を有する3次元物体を記録したCGHが得られる。すなわち、ステップST15で、その3次元物体、CGH面、参照光の空間配置が定義される。次いで、ステップST16で、その可視化された断面を有する3次元物体は、水平面でのスライスにより垂直方向に分割され、さらにスライス面上で点光源の集合に置き換えられる。そして、ステップST17で、これらの空間配置に基き、CGH面上に定義された各サンプル点において、物体を構成する各点光源から到達する光と参照光との干渉縞の強度が演算により求められ、干渉縞データが得られる。次に、ステップST18で、得られた干渉縞データは量子化された後、ステップST19で、EB描画用矩形データに変換され、ステップST20で、EB描画装置により媒体に記録され、CGHが得られる。

ところで、X線-CT、MRI及びTEMから、図3に示すような対象の3次元物体を表現するボクセル（ボリューム）データ2を得ることができる（特許文献2、非特許文献3、非特許文献4）。ただし、この場合に得られるデータ構造は、図3のような積層構造ではなく、3次元空間を微小立方体で区切ってその各々に物体データを持たせたものからなる。このようなボクセル（ボリューム）データ2から、図1のステップST12～20と同様の工程を経て、任意の断面で切り出した3次元物体をその断面を可視化して再生可能に記録したCGHを作成することもできる。以下、簡単にそのフローを説明する。

図7のステップST21において、3次元X線-CT等の測定装置を用いて対象の3次元物体のボクセル（ボリューム：体積）データ2を取得する。次に、ステップST22において、その得られたボクセル（ボリューム）データ2から、図4に示すように、その3次元物体の形状を示すポリゴンデータ（表面データ）3を作成する。次に、図7のステップST23において、図5に示すように、作成された表面データ（ポリゴンデータ）3のみからなる3次元物体を任意の断面11で切り出す。ポリゴンデータからなる3次元物体は、物体内部から見る視点に対しては表面は見えないので、このように任意の断面11で切り出された3次元物体は表示すると、図5に示すように、破線で示した輪郭線は表示されず、また、断面と物体表面を通して内部の視点から外を見ると、その物体表面は表示されず背景の面が見えることになる。例えば、図5の円筒の左断面5<sub>1</sub>の左の輪郭線、底の輪郭線、円筒内面の一部の輪郭線は物体内部から見ていることになるので表示されない（見えない）。図5の円筒の右断面5<sub>2</sub>の左の輪郭線、底の輪郭線は物体内部から見ていることになるので表示されない（見えない）。ただし、円筒の右断面5<sub>2</sub>を通して背景側にある円筒内面の表面（一部）は透けて見える。また、図5の円筒内の球の断面6を通して背景側にあるその球の裏面は見えないが、円筒内面の表面は透けて見える。また、図5の円筒内の直方体の断面7を通して背景側にあるその直方体の裏面は見えないが、円筒内面の表面は透けて見える。このように、ポリゴンデータ3のみからなる3次元物体を任意の断面11で切り出すと、断面部は輪郭線の一部のみが表示されるが、断面の全部の輪郭線が表示されることはなく、また、本来見えるはずがない表面像が断面を通して見えてしまう。ただし、ポリゴンデータ3を断面11で切り出す際に破線で示した輪郭線データは計算上作成されている。

そこで、次に、図7のステップST24において、断面11で切られた断面、すなわち、図5の断面5<sub>1</sub>、断面5<sub>2</sub>、断面6、7にその面を表すポリゴンデータ（表面データ）

を加えて、これらの断面 $5_1$ 、 $5_2$ 、6、7で切り出した3次元立体像にその新たなポリゴンデータを追加して、図6に示すようなCGH化する3次元物体10の形状を定義する。このポリゴンデータ化された断面 $5_1$ 、 $5_2$ 、6、7を有する3次元物体10は、自然な3次元立体像のCGデータとなる。

このようにしてステップST21～24で定義された可視化された断面を有する3次元物体に対して、可視化された断面を有する3次元物体を記録したCGHを得る。すなわち、ステップST25で、その3次元物体、CGH面、参照光の空間配置が定義される。次いで、ステップST26で、その可視化された断面を有する3次元物体は、水平面でのスライスにより垂直方向に分割され、さらにスライス面上で点光源の集合に置き換えられる。そして、ステップST27で、これらの空間配置に基き、CGH面上に定義された各サンプル点において、物体を構成する各点光源から到達する光と参照光との干渉縞の強度が演算により求められ、干渉縞データが得られる。次に、ステップST28で、得られた干渉縞データは量子化された後、ステップST29で、EB描画用矩形データに変換され、ステップST30で、EB描画装置により媒体に記録され、CGHが得られる。

さて、以上のようにして得られたCGHは、図6に示したような断面 $5_1$ 、 $5_2$ 、6、7を有する3次元物体が再生可能に記録されてなるものである。

同様の手法で、同じ3次元物体に対して別の異なる断面で切り出し、その断面を可視化した3次元物体を再生可能に記録した別のCGHを得ることもできる。

さらには、図4のような断面で切り出していない元の3次元物体を再生可能に記録したCGHを得ることも当然できる。

このような同一3次元物体に対して、いくつかの断面で切り出し、その断面を可視化した3次元物体を再生可能に記録した1枚又は複数枚のCGHと、断面で切り出していない元の3次元物体を再生可能に記録したCGHとを多重化（例えば、特許文献1参照）して1枚のCGHに記録し、視点あるいは再生照明光の入射方向を変えることにより、同一3次元物体の全体の形状と任意の断面で切り出したときの形状とを切り換え可能にCGHとして記録することができる。その手法を特許文献1に開示された方法に基づいて説明する。

図4のような断面で切り出していない元の3次元物体を記録する物体Fa、図6のようなその元の3次元物体を1つの断面で切り出してその断面を可視化した3次元物体を記録する物体Fb、同じ元の3次元物体を別の断面で切り出してその断面を可視化した図示し

ていない3次元物体を記録する物体F cとし、これらの3つの3次元物体を1枚の記録媒体上に重ねて記録し、視点位置を変えることにより、同じ3次元物体の断面で切り出していない3次元物体と、異なる断面で切り出してその断面を可視化した3次元物体を選択的に再生できるようにする例について説明すると、まず、図8に示すように、記録媒体20の記録面上に複数の記録領域を定義する。ここでは、記録面がXY平面上にあるものとし、個々の記録領域を、X軸方向に細長い矩形からなる領域として定義している。すなわち、図8の例では、9つの記録領域A1、B1、C1、A2、B2、C2、A3、B3、C3が定義されており、何れもX軸方向に細長く、Y軸方向に幅hを持った同一の矩形領域によって構成されている。原理上は、記録対象となる記録する3次元物体の数に応じて、複数のグループを定義し、各記録領域を何れかのグループに所属させることになる。ここに示す例では、3つの3次元物体を重ねて記録するため、3通りのグループGa、Gb、Gcが定義され、各記録領域は、この3通りのグループの何れかに所属することになる。図8の例では、記録領域A1、A2、A3がグループGaに所属し、記録領域B1、B2、B3がグループGbに所属し、記録領域C1、C2、C3がグループGcに所属することが示されている。図8では、各記録領域の所属グループをカッコ書きで示されている。

このように、各記録領域をグループに分けたら、特定の3次元物体に関する情報を特定のグループに所属する記録領域に記録する。例えば、3次元物体Fa、Fb、Fcという3つの3次元物体を記録する場合、3次元物体FaをグループGaに所属する記録領域A1、A2、A3に記録し、3次元物体FbをグループGbに所属する記録領域B1、B2、B3に記録し、3次元物体FcをグループGcに所属する記録領域C1、C2、C3に記録する。この際、各グループの記録領域に記録される3次元物体Fa、Fb、Fcは、再生されるときに相互に相対位置が同じになるように、記録媒体20の記録面に対して相対的に同じ位置に位置するように定義されて記録される（図1のステップST15）。そして、各グループ毎に、記録媒体20の記録面に対する参照光の入射方向が異なるような設定を行って記録を行う。この記録方法を、図9（a）、（b）を参照しながら具体的に説明する。

まず、図9（a）に示すように、第1の3次元物体Faを、グループGaに所属する記録領域A1、A2、A3に記録する。このとき、記録面に対して第1の方向から参照光Raを照射するようにし、3次元物体Faの物体光Oaと参照光Raとの干渉縞が、各記録領域A1、A2、A3に記録されるようにする。もちろん、この記録はCGHの記録であ

り、実際上は物体光 $O_a$ と参照光 $R_a$ との干渉縞は演算により求められ（図1のステップST17）、その干渉縞はEB描画等により記録される。他の記録領域B1、B2、B3、C1、C2、C3についても同様。

続いて、図9（b）に示すように、第2の3次元物体 $F_b$ を、グループ $G_b$ に所属する記録領域B1、B2、B3に記録する。このとき、記録面に対して第2の方向から参照光 $R_b$ を照射するようにし、3次元物体 $F_b$ の物体光 $O_b$ と参照光 $R_b$ との干渉縞が、各記録領域B1、B2、B3に記録されるようにする。

最後に、図示しないが、第3の3次元物体 $F_c$ を、グループ $G_c$ に所属する記録領域C1、C2、C3に記録する。このとき、記録面に対して第3の方向から参照光 $R_c$ を照射するようにし、原画像 $F_c$ からの物体光 $O_c$ と参照光 $R_c$ との干渉縞が、各記録領域C1、C2、C3に記録されるようにする。

このようにして、記録媒体20上の記録面全面に干渉縞の記録が行われることになる。もちろん、実際上は、演算により求められた干渉縞をEB描画等により同時に記録媒体20上の記録面全面に記録される。

ここで、各グループの記録領域に記録する際に、参照光 $R_a$ 、 $R_b$ 、 $R_c$ が記録面に対してそれぞれ異なる入射方向から照射される。このように、参照光の入射方向をそれぞれ変えて各3次元物体を記録しておくと、視点位置とCGHの向きを固定したまま再生照明光の入射方向を変えるか、あるいは、再生照明光の入射方向とCGHの向きを固定したまま視点位置を変えか、あるいは、視点位置と再生照明光の入射方向を固定したままCGHの向きを変えることにより、異なる3次元物体 $F_a$ 、 $F_b$ 、 $F_c$ の像が選択的に観察できるようになる。すなわち、本発明の場合、視点あるいは再生照明光の入射方向あるいはCGHの向きを変えることにより、同一3次元物体の全体の形状と任意の断面で切り出したときの形状とを切り換えて観察できるようになる。

なお、上述の例では、同一3次元物体の3つの形状を多重記録しているが、2つの形状でも、あるいは4つ以上の形状を多重記録するようにしてもよい。

ところで、図1のステップST11～14及び図7のステップST21～24で定義された可視化された断面を有する3次元物体を記録したCGHの作成方法、あるいは、図8のグループ $G_a$ 、 $G_b$ 、 $G_c$ 各々に記録するCGHの作成方法としては、図10のST2～ST7のような干渉縞の強度分布を記録したバイナリホログラムであって、再生像が水平方向の視差のみを持ち、上方からの白色光で観察されるようなCGHの作成方法に限定

されず、公知の種々のCGHの作成方法が適用できる。その他の例として特許文献3の計算機合成ホログラムがある。以下に、その計算機ホログラムの作成方法を特許文献3に則って説明する。

本発明においてCGHの作成方法として利用できるこの計算機合成ホログラムの基本原  
理は、ホログラム面での画素構造をなくすため、ホログラム面から離れた位置に、放射方  
向に応じて異なった放射輝度であって物体表面のその方向の輝度に等しい放射輝度を持  
った仮想点光源あるいは集光方向に応じて異なった放射輝度であって物体表面のその方向  
の輝度に等しい放射輝度を持った仮想集光点を多数定義し、それらの仮想点光源から放射  
する光あるいはそれらの仮想集光点に集光する光を仮想的な物体光として計算機合成ホログ  
ラムを作成することで、高解像度でかつホログラム撮影の不要な計算機合成ホログラム（  
CGH）を作成するものである。

以下、この計算機合成ホログラムの原理を説明する。

図12に原理説明図に示すように、z軸に沿ってプラス方向に仮想点光源群31、物体  
10（図6の物体10、物体Fa、Fb、Fcが対応）、CGH32、観察者Mの順に配  
置し、CGH32の中心を座標原点とし、x軸、y軸を相互に直交し、z軸に直交する方  
向に定める。仮想点光源群31の座標を $(x_1, y_1, z_1)$ 、物体10の座標を $(x_0, y_0, z_0)$ 、CGH32の座標を $(x_2, y_2, z_2)$ とし、i番目の仮想点光源 $Q_i(x_1, y_1, z_1)$ と、CGH32のj番目のセル $P_j(x_2, y_2, z_2)$ を結ぶ  
直線 $Q_i P_j$ と物体10の交点の中、観察者Mから観察可能な点 $S(x_0, y_0, z_0)$   
での $\theta_{xz}$ 、 $\theta_{yz}$ 方向の物体10の放射輝度を $T_{WLci}(\theta_{xz}, \theta_{yz})$ とする。ここで、 $\theta_{xz}$   
は直線 $Q_i P_j$ をx-z面へ投影したときのz軸とのなす角度、 $\theta_{yz}$ は直線 $Q_i P_j$ をy  
-z面へ投影したときのz軸とのなす角度である。

波長を $\lambda_c$ とし、仮想点光源 $Q_i$ の波長 $\lambda_c$ の振幅を $A_{WLci}$ 、初期位相を $\phi_{WLci}$ 、 $r_{ij}$   
を $Q_i$ と $P_j$ の距離とすると、 $P_j(x_2, y_2, z_2)$ での物体波21の複素振幅値 $O_{WLc}(x_2, y_2, z_2)$ は、

$$O_{WLc}(x_2, y_2, z_2)$$

$$\begin{aligned} &= \sum_{i=1}^M \{ A_{WLci} T_{WLci}(\theta_{xz}, \theta_{yz}) / |r_{ij}| \} \\ &\quad \times \exp [j \{ (2\pi / \lambda_c) r_{ij} + \phi_{WLci} \}] \end{aligned}$$

... (1)

となる。なお、通常は、振幅 $A_{WLci}$ は全て同じく1に設定してもよい。

ここで、CGH32に入射する平行光からなる参照光22の入射ベクトルを $(R_x, R_y, R_z)$ 、その波長 $\lambda_c$ の振幅を $R_{WLc0}$ 、その座標原点での位相を $\phi_{RWLc}$ とすると、参照光22の複素振幅値 $R_{WLc}(x_2, y_2, z_2)$ は、

$$R_{WLc}(x_2, y_2, z_2) = R_{WLc0} \cdot \exp [j \{ (2\pi/\lambda_c) \times (R_x x_2 + R_y y_2 + R_z z_2) / (R_x^2 + R_y^2 + R_z^2)^{1/2} + \phi_{RWLc} \} ]$$

... (2)

となる。

$P_j(x_2, y_2, z_2)$ での物体波21と参照光22とによる干渉縞の強度値 $I_{WLc}(x_2, y_2, z_2)$ は、

$$I_{WLc}(x_2, y_2, z_2) = |O_{WLc}(x_2, y_2, z_2) + R_{WLc}(x_2, y_2, z_2)|^2$$

... (3)

となる。

以上において、 $Q_i$ と $P_j$ の距離 $r_{ij}$ は、

$$r_{ij} = \{ (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2 \}^{1/2}$$

... (4)

直線 $Q_i P_j$ を $x-z$ 面へ投影したときの $z$ 軸とのなす角度 $\theta_{xz}$ は、

$$\theta_{xz} = \tan^{-1} \{ (x_2 - x_1) / (z_2 - z_1) \}$$

... (5)

直線 $Q_i P_j$ を $y-z$ 面へ投影したときの $z$ 軸とのなす角度 $\theta_{yz}$ は、

$$\theta_{yz} = \tan^{-1} \{ (y_2 - y_1) / (z_2 - z_1) \}$$

... (6)

であり、また、仮想点光源 $Q_i$ の初期位相 $\phi_{WLci}$ は仮想点光源 $Q_i$ 間で相互に無関係に一定に設定される。

以上の説明から明らかなように、CGH32として記録再生可能にする3次元物体10の観察側と反対側に多数の仮想点光源 $Q_i(x_1, y_1, z_1)$ を設定し、各仮想点光源 $Q_i$ から発散する発散光の輝度角度分布 $T_{WLci}(\theta_{xz}, \theta_{yz})$ を、観察側からその3次元物体10を通してその仮想点光源 $Q_i$ を見たときのその3次元物体10表面の輝度角度分布と等しいものに設定し、かつ、仮想点光源 $Q_i$ の初期位相 $\phi_{WLci}$ は仮想点光源 $Q_i$ 間で

相互に無関係に一定に設定して、このような仮想点光源 $Q_i$ からの発散光をCGH 3 2の面で相互に重畳させて、その重畳された位相と振幅をホログラフィックに記録（参照光2 2との干渉記録）することにより、3次元物体1 0を再生可能な本発明のCGH 3 2が得られる。

なお、図1 2の配置において、CGH 3 2の位置は必ずしも物体1 0の観察側である必要はなく、仮想点光源群3 1の観察側であれば何れの位置でもよい。また、物体1 0の位置は必ずしも仮想点光源群3 1の観察側である必要もない。

このようにして記録したCGH 3 2に、図1 3に示すように、参照光2 2と同じ波長 $\lambda$ の再生照明光3 5を参照光2 2と同じ入射角で入射させると、CGH 3 2から回折される回折光3 6によって物体（3次元物体）1 0が虚像（CGH 3 2の物体1 0に対する位置によっては実像の場合もある。）として再生され、観察者Mはその3次元物体1 0を観察することができる。観察者は視点を移動させることにより立体感豊かにその物体1 0を観察できる。なお、回折光3 6は仮想点光源群3 1から出るように進むが、各仮想点光源から出る光は方向によって輝度が異なっているので、仮想点光源群3 1は直接的には認識され難い。

次に、このようなCGH 3 2をバイナリホログラムとして作成する方法を図1 4に基づいて説明する。ステップST 3 1で、CGH化する物体1 0の形状が定義される。次いで、ステップST 3 2で、仮想点光源群3 1、物体1 0、CGH 3 2、参照光2 2の空間配置と、仮想点光源群3 1のサンプリング点( $Q_i$ )とCGH 3 2のサンプリング点( $P_j$ )が定義される。次いで、ステップST 3 3で、各仮想点光源毎に輝度角度分布 $T_{WL,i}$  ( $\theta_{xz}$ ,  $\theta_{yz}$ )を物体1 0表面の輝度角度分布と等しいものとして求める。そして、ステップST 3 4で、式(1)と(2)により、CGH 3 2の面での物体光の複素振幅値 $O_{WL}$  ( $x_2$ ,  $y_2$ ,  $z_2$ )と、参照光2 2の複素振幅値 $R_{WL}$  ( $x_2$ ,  $y_2$ ,  $z_2$ )を計算する。その後、ステップST 3 5で、式(3)により、CGH 3 2の面上に定義された各サンプル点において、物体光と参照光との干渉縞の強度が求められ、干渉縞データが得られる。次に、ステップST 3 6で、得られた干渉縞データは量子化された後、ステップST 3 7で、EB描画用矩形データに変換され、ステップST 3 8で、EB描画装置により媒体に記録され、CGH 3 2が得られる。

なお、図1 2の場合は、全ての仮想点光源 $Q_i$ からの物体波がCGH 3 2のセル $P_j$ に入射するようになっているが、 $y$ 軸に垂直な多数のスライス面で仮想点光源群3 1とCG



H 3 2 を区切り、そのスライス面内に物体波の入射範囲を制限するようにしてもよい。

また、図 1 2 では仮想点光源として 2 次元面内の点光源を用いているが、y 方向には光の広がらないで (x 方向には広がる)、y 方向に伸びる線光源を用いるようにしてもよい。

さらに、図 1 2 の場合は、物体光の複素振幅値  $O_{WLc} (x_2, y_2, z_2)$  をホログラムとして固定するのに、参照光との干渉による方式を用いているが、物体波の複素振幅を直接再生する Lohmann の方法や Lee の方法 (非特許文献 5) によってもよく、また、特許文献 4 で提案した方法によってもよい。

図 1 5 に、本発明において CGH の作成方法として利用できる計算機合成ホログラムの別の形態の説明図を示す。この形態は、図 1 2 の仮想点光源群 3 1 と CGH 3 2 とを入れ換えて、仮想点光源群 3 1 を仮想集光点群 3 3 で置き換えたものである。図 1 5 に示すように、z 軸に沿ってプラス方向に CGH 3 2、物体 1 0、仮想集光点群 3 3、観察者 M の順に配置し、CGH 3 2 の中心を座標原点とし、x 軸、y 軸を相互に直交し、z 軸に直交する方向に定める。仮想集光点群 3 3 の座標を  $(x_1, y_1, z_1)$ 、物体 1 0 の座標を  $(x_0, y_0, z_0)$ 、CGH 3 2 の座標を  $(x_2, y_2, z_2)$  とし、i 番目の仮想集光点  $Q_i (x_1, y_1, z_1)$  (仮想点光源と同じ記号を用いる。) と、CGH 3 2 の j 番目のセル  $P_j (x_2, y_2, z_2)$  を結ぶ直線  $Q_i P_j$  と物体の交点の中、観察者 M から観察可能な点  $S (x_0, y_0, z_0)$  での  $\theta_{xz}$ 、 $\theta_{yz}$  方向の物体 1 0 の放射輝度を  $T_{WLc,i} (\theta_{xz}, \theta_{yz})$  とする。ここで、 $\theta_{xz}$  は直線  $Q_i P_j$  を x-z 面へ投影したときの z 軸とのなす角度、 $\theta_{yz}$  は直線  $Q_i P_j$  を y-z 面へ投影したときの z 軸とのなす角度である。

波長を  $\lambda_c$  とし、仮想集光点  $Q_i$  での波長  $\lambda_c$  の位相を  $\phi_{WLc,i}$ 、 $r_{ij}$  を  $Q_i$  と  $P_j$  の距離とすると、 $P_j (x_2, y_2, z_2)$  に入射する物体波の複素振幅値  $O_{WLc} (x_2, y_2, z_2)$  は、前記式 (1) の代わりに、

$$O_{WLc} (x_2, y_2, z_2) = \sum_{i=1}^M \{ T_{WLc,i} (\theta_{xz}, \theta_{yz}) / |r_{ij}| \} \\ \times \exp [j \{ - (2\pi / \lambda_c) |r_{ij}| + \phi_{WLc,i} \}] \\ \dots (1')$$

となる。

ここで、CGH 32に入射する平行光からなる参照光22の入射ベクトルを $(R_x, R_y, R_z)$ 、その波長 $\lambda_c$ の振幅を $R_{WLc0}$ 、その座標原点での位相を $\phi_{RWLc}$ とすると、参照光22の複素振幅値 $R_{WLc}(x_2, y_2, z_2)$ は、図12の場合と同様に、

$$R_{WLc}(x_2, y_2, z_2) = R_{WLc0} \cdot \exp \left[ j \left\{ (2\pi/\lambda_c) \times (R_x x_2 + R_y y_2 + R_z z_2) / (R_x^2 + R_y^2 + R_z^2)^{1/2} + \phi_{RWLc} \right\} \right] \quad \dots (2)$$

となる。

$P_j(x_2, y_2, z_2)$ での物体波と参照光22とによる干渉縞の強度値 $I_{WLc}(x_2, y_2, z_2)$ は、同様に、

$$I_{WLc}(x_2, y_2, z_2) = |O_{WLc}(x_2, y_2, z_2) + R_{WLc}(x_2, y_2, z_2)|^2 \quad \dots (3)$$

となる。

以上において、 $Q_i$ と $P_j$ の距離 $r_{ij}$ は、

$$r_{ij} = \{ (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2 \}^{1/2} \quad \dots (4)$$

直線 $Q_i P_j$ を $x-z$ 面へ投影したときの $z$ 軸とのなす角度 $\theta_{xz}$ は、

$$\theta_{xz} = \tan^{-1} \{ (x_2 - x_1) / (z_2 - z_1) \} \quad \dots (5)$$

直線 $Q_i P_j$ を $y-z$ 面へ投影したときの $z$ 軸とのなす角度 $\theta_{yz}$ は、

$$\theta_{yz} = \tan^{-1} \{ (y_2 - y_1) / (z_2 - z_1) \} \quad \dots (6)$$

であり、また、仮想集光点 $Q_i$ での位相 $\phi_{WLci}$ は仮想集光点 $Q_i$ 間で相互に無関係に一定に設定される。

以上の説明から明らかなように、CGH 32として記録再生可能にする3次元物体10の観察側に多数の仮想集光点 $Q_i(x_1, y_1, z_1)$ を設定し、各仮想集光点 $Q_i$ に物体側から入射する収束光の輝度角度分布 $T_{WLci}(\theta_{xz}, \theta_{yz})$ を、観察側から仮想集光点 $Q_i$ を通してその3次元物体10を見たときのその3次元物体10表面の輝度角度分布と等しいものに設定し、かつ、仮想集光点 $Q_i$ での位相 $\phi_{WLci}$ は仮想集光点 $Q_i$ 間で相互に無関係に一定に設定して、このような仮想集光点 $Q_i$ に入射する収束光をCGH 32の面で相互に重畳させて、その重畳された位相と振幅をホログラフィックに記録(参照光22

との干渉記録)することにより、3次元物体10を再生可能な本発明のCGH32が得られる。

なお、図15の配置において、CGH32の位置は必ずしも物体10の観察側と反対側である必要はなく仮想集光点群33の観察側と反対側であれば何れの位置でもよい。また、物体10の位置は必ずしも仮想集光点群33の観察側と反対側である必要もない。

なお、上記の仮想集光点 $Q_i$ に物体側から入射する収束光の輝度角度分布 $T_{WL,i}(\theta_{xz}, \theta_{yz})$ は、図15に示したように、仮想集光点 $Q_i$ の位置にコンピュータグラフィックス作成用のカメラを配置して生成したコンピュータグラフィックス画像と同じであり、したがって、上記式(1')の計算においては、仮想集光点 $Q_i$ に視点を置いて市販のソフトを用いて作成した3次元物体のコンピュータグラフィックス画像(3DCG画像)を用いればよく、式(1')の計算が単純化される。

以上のようにして記録したこの形態のCGH32に、図16に示すように、参照光22と同じ波長 $\lambda$ の再生照明光35を参照光22と同じ入射角で入射させると、CGH32から回折される回折光36によって物体(3次元物体)10が実像(CGH32の物体10に対する位置によっては虚像の場合もある。)として再生され、観察者Mはその3次元物体10を観察することができる。観察者は視点を移動させることにより立体感豊かにその物体10を観察できる。なお、回折光36は仮想集光点群33を通過してそこから出るように進むが、各仮想集光点から出る光は方向によって輝度が異なっているので、仮想集光点群33は直接的には認識され難い。

この図15、図16で説明したようなCGH32をバイナリホログラムとして作成する方法を図17に示す。図14の場合と異なるのは、ステップST42で、CGH32、物体10、仮想集光点群33、参照光22の空間配置と、CGH32のサンプリング点( $P_j$ )と仮想集光点群33のサンプリング点( $Q_i$ )を定義する点と、ステップST43で、各仮想集光点毎に輝度角度分布 $T_{WL,i}(\theta_{xz}, \theta_{yz})$ を物体10表面の輝度角度分布と等しいものとして求める点と、ステップST44で、式(1')と(2)により、CGH32の面での物体光の複素振幅値 $O_{WL}(x_2, y_2, z_2)$ と、参照光22の複素振幅値 $R_{WL}(x_2, y_2, z_2)$ を計算する点であり、本質的には図14の場合と同様であり、その他の説明は省く。

また、この形態の場合も、全ての仮想集光点 $Q_i$ に入射する物体波がCGH32のセル $P_j$ に入射するようになっているが、y軸に垂直な多数のスライス面でCGH32と仮想

集光点群 3 3 を区切り、そのスライス面内に物体波の入射範囲を制限するようにしてもよい。

また、図 1 5 では仮想集光点として 2 次元面内の点光源を用いているが、y 方向には光の広がらないで (x 方向には広がる)、y 方向に伸びる集光線を用いるようにしてもよい。

さらに、図 1 5 の場合は、物体光の複素振幅値  $O_{WL}$ 。 ( $x_2$ ,  $y_2$ ,  $z_2$ ) をホログラムとして固定するのに、参照光との干渉による方式を用いているが、物体波の複素振幅を直接再生する Lohmann の方法や Lee の方法 (非特許文献 5) によってもよく、また、特許文献 4 で提案した方法によってもよい。

以上の方法で作成される CGH 3 2 に記録する 3 次元物体 1 0 のデータとして、本発明に基づいて、図 6 の物体 1 0、物体 F a、F b、F c のデータが用いられる。

さて、本発明は、可視化断面を有する 3 次元物体が記録されたホログラフィックステレオグラムの作成方法と、そのようなホログラフィックステレオグラムを含むものである。本発明のホログラフィックステレオグラムの作成方法は、上記の本発明の可視化断面を有する 3 次元物体が記録された計算機ホログラムの作成方法と同様に、X 線-CT、MRI あるいは TEM 等の測定装置によって、測定対象の 3 次元物体の多数の 2 次元断面像データを得て、その多数の 2 次元断面像データからその 3 次元物体の表面データ (ポリゴンデータ) のみからなる 3 次元立体像を CG (コンピュータグラフィック) データとして作成し、得られたその 3 次元立体像を任意の断面で切ったときの断面部 (この状態では、その断面に表面データ (ポリゴンデータ) を有していない。) に表面データ (ポリゴンデータ) を持たせて可視化した断面を有する 3 次元物体を CG データとして作成する。その可視化した断面を有する 3 次元物体の CG データ、すなわち、図 1 のステップ ST 1 1 ~ 1 4 で定義された可視化された断面を有する 3 次元物体の CG データ、あるいは、図 7 のステップ ST 2 1 ~ 2 4 で定義された可視化された断面を有する 3 次元物体の CG データを用いて、ホログラフィックステレオグラムを作成する。

これまでに開発されたホログラフィックステレオグラムには大きく 2 種類あり、その撮影工程の回数から、2 step ホログラフィックステレオグラム及び 1 step ホログラフィックステレオグラムと呼ばれているものである。

2 step ホログラフィックステレオグラムは、その名が示す通り 2 回の撮影工程により作成される。詳細な作成方法は特許文献 5 に記載されている。簡単に説明すると、(1

）被写体となる物体から離れた多数の位置から見た物体の2次元画像を準備する、（2）第1の感光材料を多数の領域に分け、それぞれの領域に（1）にて準備した画像の中、その領域に対応した画像をホログラフィックに記録することで第1のホログラムを作成する、（3）第1のホログラムに再生照明光を照射し、再生された像を第2の感光材料に記録することで、第2のホログラムを作成する、の3つの工程からなる。一方、1stepホログラフィックステレオグラムは、その名が示す通り1回の撮影工程により作成される。詳細な作製方法は特許文献6、特許文献7、非特許文献6、非特許文献7、非特許文献8に記載されている。簡単に説明すると、（1）感光材料上の多数の位置から放射されるべき光線を求める、（2）感光材料を多数の領域に分け、それぞれの領域に（1）にて求めたその領域から再生されるべき光線を記録する、の2つの工程からなる。

2stepホログラフィックステレオグラムでも1stepホログラフィックステレオグラムでも立体視が可能であり、汎用的な立体像再生媒体として利用されている。

以下、非特許文献6、非特許文献7、非特許文献8に記載されているマルチドット方式によるホログラフィックステレオグラム（以下、簡単のため、マルチドットHSと呼ぶ。）に記録する物体として、図1のステップST11～14で定義された可視化された断面を有する3次元物体のCGデータ、あるいは、図7のステップST21～24で定義された可視化された断面を有する3次元物体のCGデータを用いる場合について説明する。

図18の原理図を参照にしてこのマルチドットHSの作成方法を簡単に説明する。表示したい立体物をO（図6の物体10が対応）とし、その立体物Oを表示する体積ホログラムをHとする。ホログラムHを撮影する段階での体積ホログラム感光材料もHで示す。体積ホログラムHは微小な要素ホログラム $a_1 \sim a_N$ を並列してなるものである。立体物OとホログラムHの位置関係は固定して考える。

ある要素ホログラム $a_n$ 。中心を通りホログラム面に対して角度の異なる光線を $B_1 \sim B_5$ とする。光線 $B_1 \sim B_5$ と立体物Oの表面が交差する位置を1～5とすると、要素ホログラム $a_n$ から回折される異なる角度の光線 $B_1 \sim B_5$ それぞれが立体物O表面の位置1～5の情報を持つように要素ホログラム $a_n$ が記録されていると、観察者の左右の目 $E_L$ 、 $E_R$ がその要素ホログラム $a_n$ を見ると、左右の目 $E_L$ 、 $E_R$ に、各々の目 $E_L$ 、 $E_R$ と要素ホログラム $a_n$ を結んだ直線と立体物O表面が交差する位置の立体物Oの表面情報が入射する。

他の要素ホログラム $a_m$ にも同様に記録されていると、左右の目 $E_L$ 、 $E_R$ がホログラ

ムHのどの位置を観察しても、左右の目 $E_L$ 、 $E_R$ にはその位置と各々の目 $E_L$ 、 $E_R$ を結んだ直線と立体物O表面が交差する位置の立体物Oの表面情報が入射することになるので、両眼視差の原理で立体像Oが3次元像として観察者に認識される。要素ホログラム $a_1 \sim a_N$ を1次元方向に並べれば、左右方向にのみ両眼視差で3次元像が再生可能なホログラフィックステレオグラムが得られ、要素ホログラム $a_1 \sim a_N$ を2次元方向に並べれば、何れの方向にも両眼視差で3次元像が再生可能なホログラフィックステレオグラムが得られる。これがマルチドットHSの原理である。

このような要素ホログラム $a_n$ を記録するには、光線 $B_1 \sim B_5$ を観察者と反対側に延長し、表示装置（例えば、液晶表示装置）LCDの表示面とその延長した光線 $B_1 \sim B_5$ との交点1～5に、立体物O表面の位置1～5の情報をそれぞれ表示し、その表示位置1～5を透過して変調された光線 $B_1 \sim B_5$ と所定角度の参照光Aとを体積ホログラム感光材料Hの要素ホログラム $a_n$ の位置で干渉させれば、上記のようなマルチドットHSが得られる。表示装置LCDの表示面の位置1～5に表示するこのような情報は、図1のステップST11～14で定義された可視化された断面を有する3次元物体のCGデータ、あるいは、図7のステップST21～24で定義された可視化された断面を有する3次元物体のCGデータにより合成される。

このように、マルチドットHSを再生すると、ホログラムH上の各点からの光線が正しく再生され、記録した立体物Oの立体像を観察することができる。これは、言い換えると、ホログラムHの要素ホログラム $a_1 \sim a_N$ の各領域を窓として、その窓を透過して観察される立体物Oからの全ての光線の方向と強度を正しく記録し、再生するものである。そのため、全く歪みのない立体像を再生することができる。

次に、特許文献7に則って図19及び図20を用いて本発明のマルチドットHSの作成方法の例を説明する。

図19は本発明のマルチドットHSの作成システムを示す概要図であり、図20は本発明のマルチドットHSの作成工程を説明するためのフロー図である。オペレータは、コンピュータ40のモニター上で3次元物体を色々な角度から観察し、出力させる方向を設定する。

まず、図20のステップST51において、3次元画像データをホストコンピュータ40に入力する。本発明では、この3次元画像データは、図1のステップST11～14で定義された可視化された断面を有する3次元物体のCGデータ、あるいは、図7のステッ

プST 2 1～2 4で定義された可視化された断面を有する3次元物体のCGデータである。

次に、ステップST 5 2において、ホログラム乾板5 2をフィルム移動コントローラ4 6により移動して、ホログラム乾板5 2を所望の位置に設定する。

次に、ステップST 5 3において、グラフィックプロセッサ4 2により、オリジナルの3次元データからホログラムの各点に露光する原画パターンを図1 8の原理に従って計算し、フレームメモリ4 4に蓄積する。

次に、ステップST 5 4において、液晶パネル5 5にその原画パターンを表示する。

次に、ステップST 5 5において、光学系4 8のシャッターを開き、液晶パネル5 5を露光する。レーザ装置4 9より取り出されたレーザ光は、ビームスプリッタ5 3により物体光と参照光に分けられ、物体光は、液晶パネル5 5の原画パターンにより振幅変調され、さらに疑似ランダム拡散板5 1により位相変調されて、ホログラム面5 2に集光され、参照光と共に1つの要素ホログラムを形成する。

次に、ステップST 5 6において、ホログラム乾板5 2は、フィルム移動コントローラ4 6により順次移動され、ステップST 5 7を介してホログラム面5 2の全面を塗りつぶすように露光される。

その後、ステップST 5 8において、ホログラム5 2の現像処理が現像機5 0により行われ、マルチドットHSが自動的に作成される。

なお、グラフィックプロセッサ4 2、フィルム移動コントローラ4 6、及び、現像機5 0は、CPUにより制御される。

この例では、ホログラム面5 2上の集光部の座標位置に対応する原画、すなわち、ホログラム面5 2上の集光部の座標位置を窓として、その窓を通して観察される、図1のステップST 1 1～1 4で定義された可視化された断面を有する3次元物体、あるいは、図7のステップST 2 1～2 4で定義された可視化された断面を有する3次元物体の2次元画像を原画データとして作成し、この原画データを表示手段である液晶パネル5 5に表示し、光学系4 8を用いてホログラム面5 2に原画に対応したドット状の要素ホログラムを形成し、ホログラム面5 2上の集光部の座標位置を順次移動して表示すること、及び、要素ホログラムを形成することを繰り返して、ドット状の複数の要素ホログラムをホログラム面5 2に形成し、ホログラム面5 2に集光される物体光に対して、位相変調要素である疑似ランダム拡散板5 1により位相変調を加えながら要素ホログラムを形成するようにした

ものである。

ところで、ホログラフィックステレオグラムには、要素ホログラム  $a_1 \sim a_N$  に記録する原画として、図18の場合のように、要素ホログラム  $a_1 \sim a_N$  の各領域を窓として、その窓を通して観察される3次元物体の2次元画像を用いる代わりに、その3次元物体を複数の方向に投影した画像を用いる方式がある(特許文献8)。この方式のホログラフィックステレオグラムの場合は、図20のステップST53において、グラフィックプロセッサ42により、オリジナルの3次元データである図1のステップST11~14で定義された可視化された断面を有する3次元物体のCGデータ、あるいは、図7のステップST21~24で定義された可視化された断面を有する3次元物体のCGデータから、ホログラムの各要素ホログラムの領域に露光する原画パターンを、その方向に投影した画像として計算し、フレームメモリ44に蓄積するようにする。また、この場合に、特許文献5等で知られているように、2stepホログラフィックステレオグラムとして、ステップST58で得られた第1のホログラムに再生照明光を照射し、再生された像を第2のホログラム乾板(感光材料)に記録することにより第2のホログラムを作成し、その第2のホログラムを可視化された断面を有する3次元物体が再生可能なホログラフィックステレオグラムとするようにしてもよい。

また、図19、図20の例では、ホログラフィックステレオグラムの要素ホログラム  $a_1 \sim a_N$  に記録する原画データを表示装置(液晶パネル55)に順に切り換えて表示し、その表示装置(液晶パネル55)に表示された原画データのホログラムを要素ホログラム  $a_1 \sim a_N$  として記録する例であったが、特許文献8、特許文献9に開示されているように、フィルムに原画データを一旦記録し、そのフィルムを送り出しながらフィルム上に記録された原画データを順に切り換え投影して要素ホログラム  $a_1 \sim a_N$  として記録するようにしてもよい。

以上、本発明の可視化断面を有する3次元物体が記録された計算機ホログラム、ホログラフィックステレオグラムの作成方法及び可視化断面を有する3次元物体が記録された計算機ホログラム、ホログラフィックステレオグラムをその原理と実施例に基づいて説明してきたが、本発明はこれら実施例に限定されず種々の変形が可能である。例えば、図1のステップST11において取得する多数の2次元断面像データとしては、相互に平行な断面データでなく、1つの軸の周りで徐々に回転する断面で取得される多数の2次元断面像データであってもよい。



また、本発明の以上のような可視化断面を有する３次元物体が記録された計算機プログラム、ホログラフィックステレオグラムを、雑誌、単行本等の印刷物の所定位置に貼り付けて印刷物を構成することにより、断面が可視化されたリアリティーに富んだ３次元物体を第三者が容易に見ることができるようになる。

#### 産業上の利用可能性

本発明の可視化断面を有する３次元物体が記録された計算機プログラム、ホログラフィックステレオグラムの作成方法及び可視化断面を有する３次元物体が記録された計算機プログラム、ホログラフィックステレオグラムによると、２次元断面像データを加工して得られる３次元構造、あるいは、体積データを加工して得られる３次元構造を立体像として再生可能にできる計算機プログラム及びホログラフィックステレオグラムに記録することができると共に、３次元構造から任意の断面で切り出して得た３次元物体をその断面を可視化して再生可能に記録できる。しかも、同一３次元物体の全体の形状と任意の断面で切り出したときの形状とを切り換えて立体像として再生可能な計算機プログラムを構成することもできる。さらに、このような３次元物体が再生可能に記録されている計算機プログラム及びホログラフィックステレオグラムを媒体として印刷物等に貼付する等して第三者に配布することが可能になる。

### 請 求 の 範 囲

1. 可視化断面を有する3次元物体が記録されている計算機ホログラムの作成方法において、3次元物体の多数の2次元断面像データを取得する工程と、取得された多数の2次元断面像データからその3次元物体の表面データのみからなる3次元物体像データを作成する工程と、作成された表面データのみからなる3次元物体を所定の断面で切り出す工程と、切り出された断面にその面を表す表面データを加えてホログラムとして記録する3次元物体の形状を定義する工程と、定義された3次元物体とホログラム面と参照光との配置を定義してホログラム面上での干渉縞を求める工程と、得られた干渉縞を記録媒体上に記録する工程とを含むことを特徴とする可視化断面を有する3次元物体が記録された計算機ホログラムの作成方法。

2. 前記3次元物体の多数の2次元断面像データが、X線-CT、MRI又はTEMによって得られたものであることを特徴とする請求項1記載の可視化断面を有する3次元物体が記録された計算機ホログラムの作成方法。

3. 可視化断面を有する3次元物体が記録されている計算機ホログラムの作成方法において、3次元物体の体積データを取得する工程と、取得された3次元物体の体積データからその3次元物体の表面データのみからなる3次元物体像データを作成する工程と、作成された表面データのみからなる3次元物体を所定の断面で切り出す工程と、切り出された断面にその面を表す表面データを加えてホログラムとして記録する3次元物体の形状を定義する工程と、定義された3次元物体とホログラム面と参照光との配置を定義してホログラム面上での干渉縞を求める工程と、得られた干渉縞を記録媒体上に記録する工程とを含むことを特徴とする可視化断面を有する3次元物体が記録された計算機ホログラムの作成方法。

4. 前記3次元物体の体積データが、X線-CT、MRI又はTEMによって得られたものであることを特徴とする請求項3記載の可視化断面を有する3次元物体が記録された計算機ホログラムの作成方法。

5. 請求項1から4の何れか1項記載の可視化断面を有する3次元物体が記録された計算機ホログラムの作成方法によって作成されたことを特徴とする可視化断面を有する3次元物体が記録された計算機ホログラム。

6. 同一3次元物体に対して、任意の断面で切り出し、その断面を可視化した3次元物体を再生可能に記録した1個又は複数の計算機プログラムと、断面で切り出す前の3次元物体を再生可能に記録した計算機プログラムとが多重化されて1枚の計算機プログラムとして記録されていることを特徴とする可視化断面を有する3次元物体が記録された計算機プログラム。

7. 多重化されて記録されている各計算機プログラムから再生される3次元物体の相対位置が同じになるように記録されていることを特徴とする請求項6記載の可視化断面を有する3次元物体が記録された計算機プログラム。

8. 3次元物体の多数の2次元断面像データを取得する工程と、取得された多数の2次元断面像データからその3次元物体の表面データのみからなる3次元物体像データを作成する工程と、作成された表面データのみからなる3次元物体を所定の断面で切り出す工程と、切り出された断面にその面を表す表面データを加えてプログラムとして記録する3次元物体の形状を定義する工程と、定義された3次元物体とプログラム面と参照光との配置を定義してプログラム面上での干渉縞を求める工程と、得られた干渉縞を記録媒体上に記録する工程とを含む可視化断面を有する3次元物体が記録された計算機プログラムの作成方法によって作成された計算機プログラムが所定位置に添付されていることを特徴とする印刷物。

9. 3次元物体の体積データを取得する工程と、取得された3次元物体の体積データからその3次元物体の表面データのみからなる3次元物体像データを作成する工程と、作成された表面データのみからなる3次元物体を所定の断面で切り出す工程と、切り出された断面にその面を表す表面データを加えてプログラムとして記録する3次元物体の形状を定義する工程と、定義された3次元物体とプログラム面と参照光との配置を定義してプログラム面上での干渉縞を求める工程と、得られた干渉縞を記録媒体上に記録する工程とを含む可視化断面を有する3次元物体が記録された計算機プログラムの作成方法によって作成された計算機プログラムが所定位置に添付されていることを特徴とする印刷物。

10. 可視化断面を有する3次元物体が記録されているホログラフィックステレオプログラムの作成方法において、3次元物体の多数の2次元断面像データを取得する工程と、取得された多数の2次元断面像データからその3次元物体の表面データのみからなる3次元物体像データを作成する工程と、作成された表面データのみからなる3次元物体を所定の断面で切り出す工程と、切り出された断面にその面を表す表面データを加えてホログラ

ムとして記録する 3 次元物体の形状を定義する工程と、定義された 3 次元物体から観察方向の異なる複数の 2 次元原画を作成する工程と、前記 2 次元原画各々に関する要素ホログラムを各々の観察方向に対応するホログラム面上の位置に 1 次元あるいは 2 次元方向に並列して記録する工程とを含むことを特徴とする可視化断面を有する 3 次元物体が記録されたホログラフィックステレオグラムの作成方法。

1 1. 前記 3 次元物体の多数の 2 次元断面像データが、X 線-CT、MRI 又は TEM によって得られたものであることを特徴とする請求項 1 0 記載の可視化断面を有する 3 次元物体が記録されたホログラフィックステレオグラムの作成方法。

1 2. 可視化断面を有する 3 次元物体が記録されているホログラフィックステレオグラムの作成方法において、3 次元物体の体積データを取得する工程と、取得された 3 次元物体の体積データからその 3 次元物体の表面データのみからなる 3 次元物体像データを作成する工程と、作成された表面データのみからなる 3 次元物体を所定の断面で切り出す工程と、切り出された断面にその面を表す表面データを加えてホログラムとして記録する 3 次元物体の形状を定義する工程と、定義された 3 次元物体から観察方向の異なる複数の 2 次元原画を作成する工程と、前記 2 次元原画各々に関する要素ホログラムを各々の観察方向に対応するホログラム面上の位置に 1 次元あるいは 2 次元方向に並列して記録する工程とを含むことを特徴とする可視化断面を有する 3 次元物体が記録されたホログラフィックステレオグラムの作成方法。

1 3. 前記 3 次元物体の体積データが、X 線-CT、MRI 又は TEM によって得られたものであることを特徴とする請求項 1 2 記載の可視化断面を有する 3 次元物体が記録されたホログラフィックステレオグラムの作成方法。

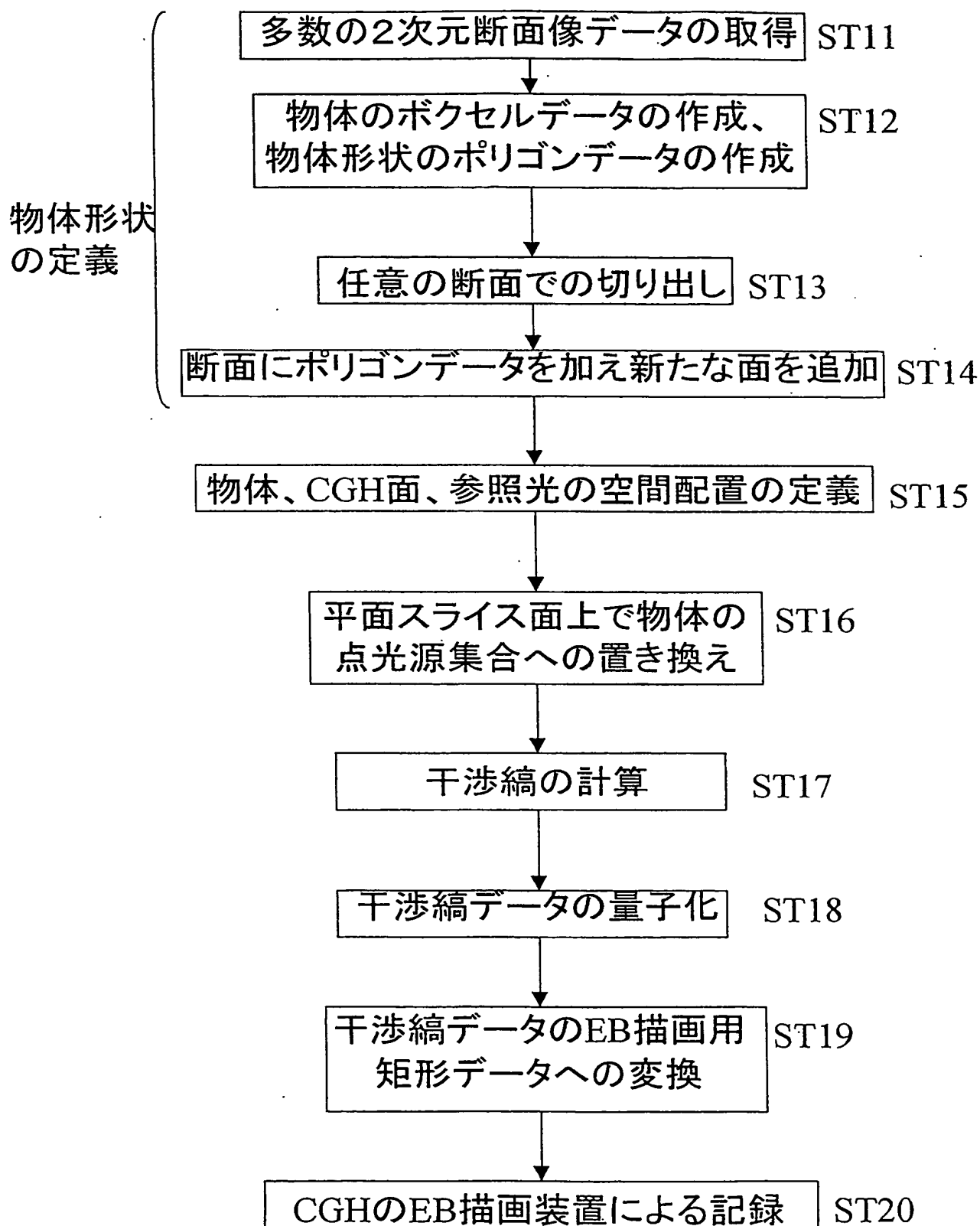
1 4. 請求項 1 1 から 1 3 の何れか 1 項記載の可視化断面を有する 3 次元物体が記録されたホログラフィックステレオグラムの作成方法によって作成されたことを特徴とする可視化断面を有する 3 次元物体が記録されたホログラフィックステレオグラム。

1 5. 3 次元物体の多数の 2 次元断面像データを取得する工程と、取得された多数の 2 次元断面像データからその 3 次元物体の表面データのみからなる 3 次元物体像データを作成する工程と、作成された表面データのみからなる 3 次元物体を所定の断面で切り出す工程と、切り出された断面にその面を表す表面データを加えてホログラムとして記録する 3 次元物体の形状を定義する工程と、定義された 3 次元物体から観察方向の異なる複数の 2 次元原画を作成する工程と、前記 2 次元原画各々に関する要素ホログラムを各々の観

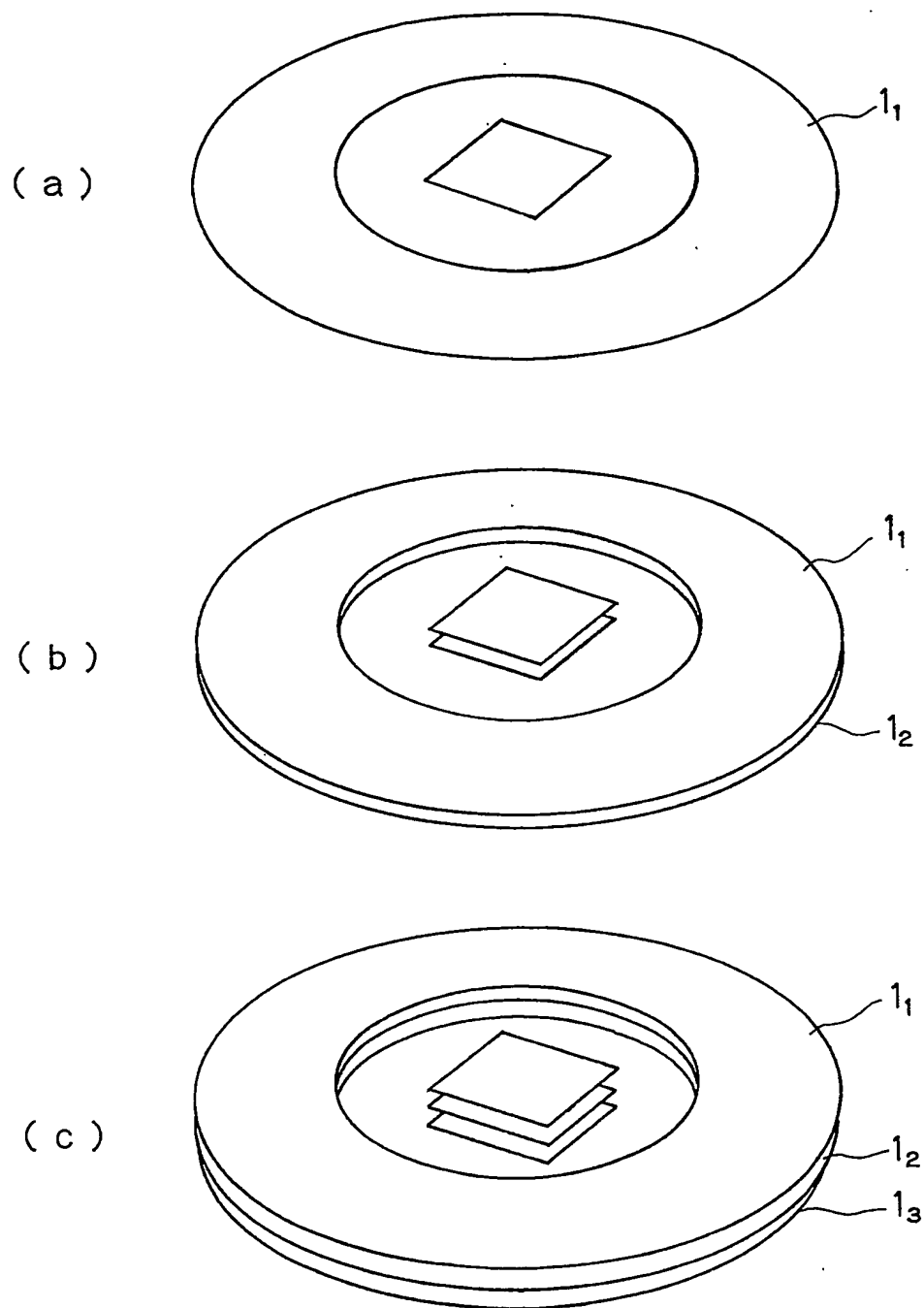
察方向に対応するホログラム面上の位置に1次元あるいは2次元方向に並列して記録する工程とを含む可視化断面を有する3次元物体が記録されたホログラフィックステレオグラムの作成方法によって作成されたホログラフィックステレオグラムが所定位置に添付されていることを特徴とする印刷物。

16. 3次元物体の体積データを取得する工程と、取得された3次元物体の体積データからその3次元物体の表面データのみからなる3次元物体像データを作成する工程と、作成された表面データのみからなる3次元物体を所定の断面で切り出す工程と、切り出された断面にその面を表す表面データを加えてホログラムとして記録する3次元物体の形状を定義する工程と、定義された3次元物体から観察方向の異なる複数の2次元原画を作成する工程と、前記2次元原画各々に関する要素ホログラムを各々の観察方向に対応するホログラム面上の位置に1次元あるいは2次元方向に並列して記録する工程とを含む可視化断面を有する3次元物体が記録されたホログラフィックステレオグラムの作成方法によって作成されたホログラフィックステレオグラムが所定位置に添付されていることを特徴とする印刷物。

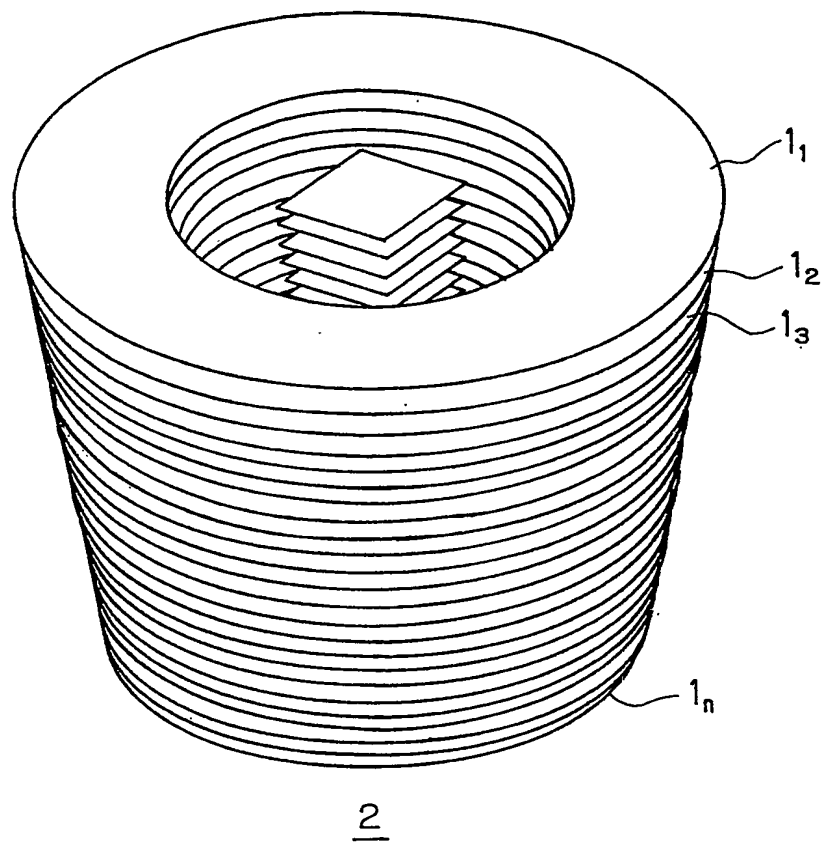
第 1 図



第 2 図

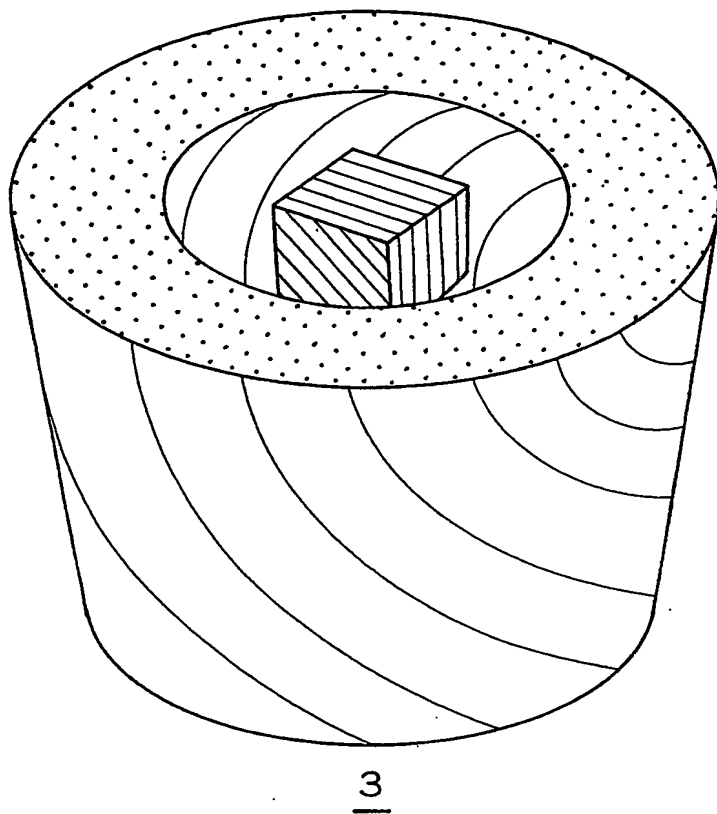


第 3 図

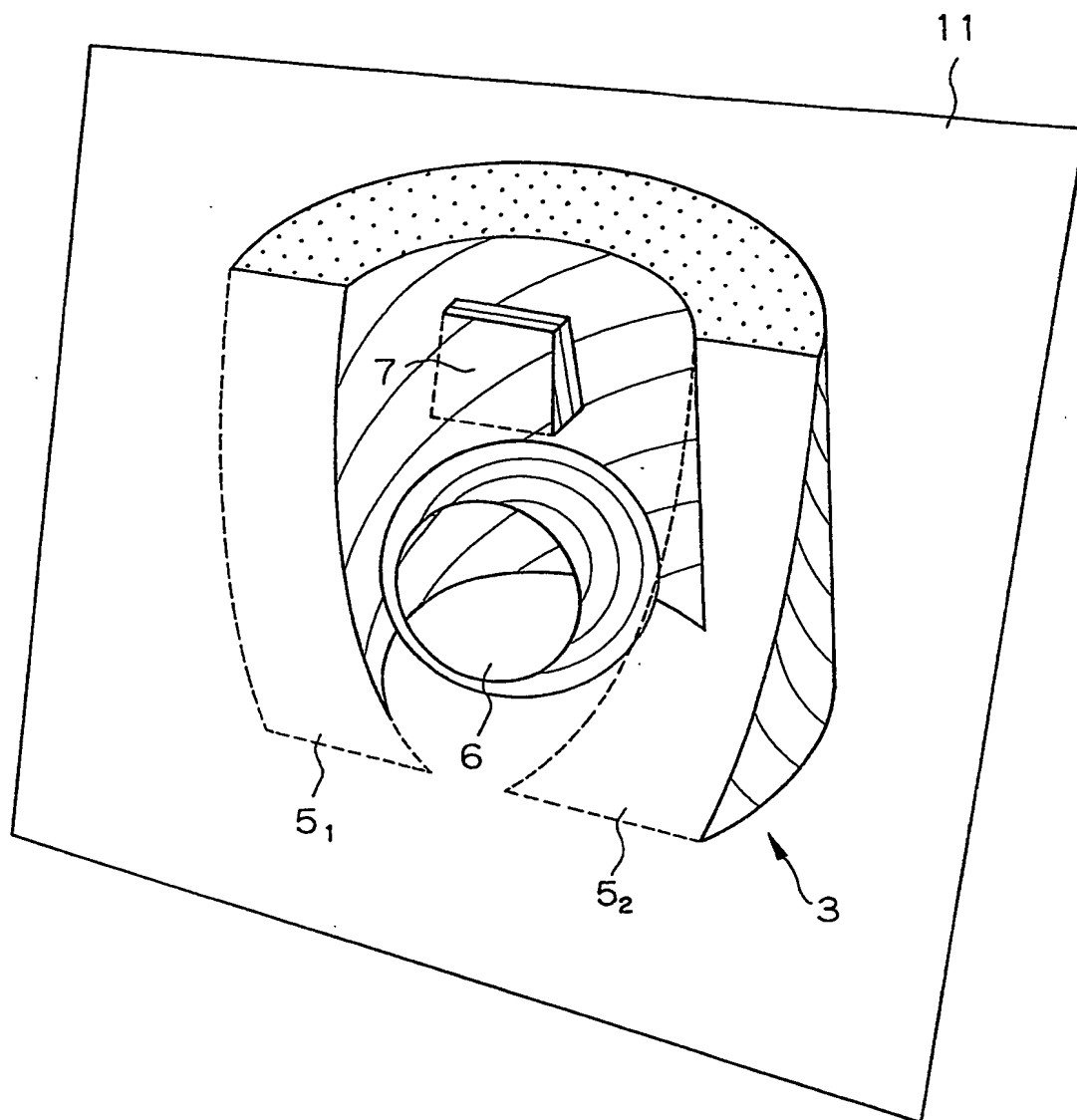




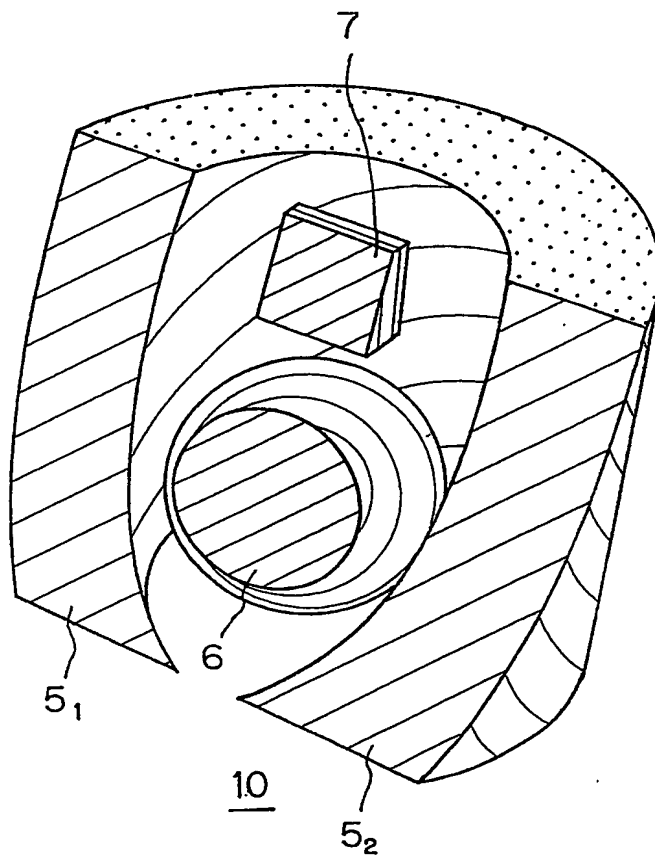
第 4 図



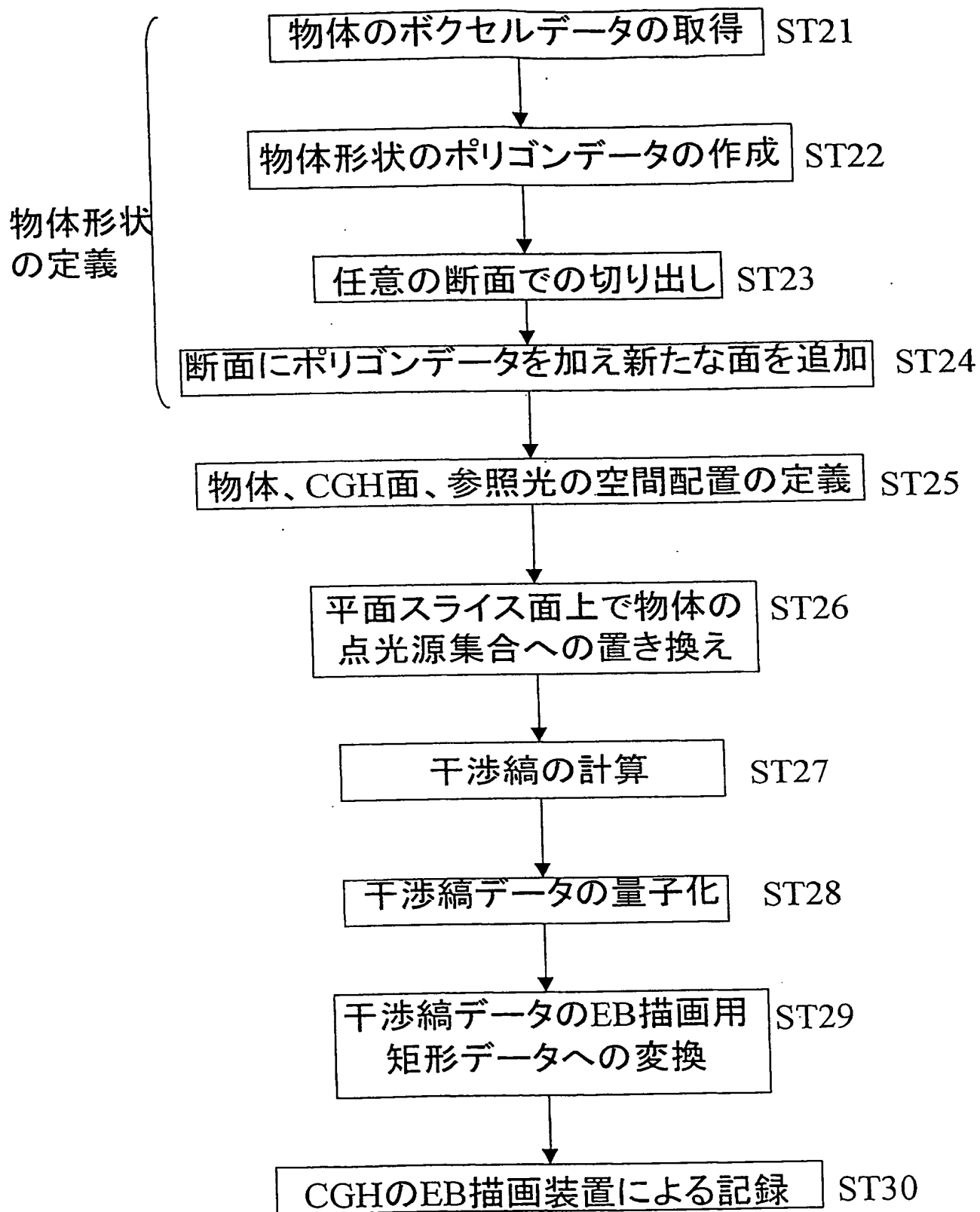
第 5 図



第 6 図



第 7 図



第 8 図

20

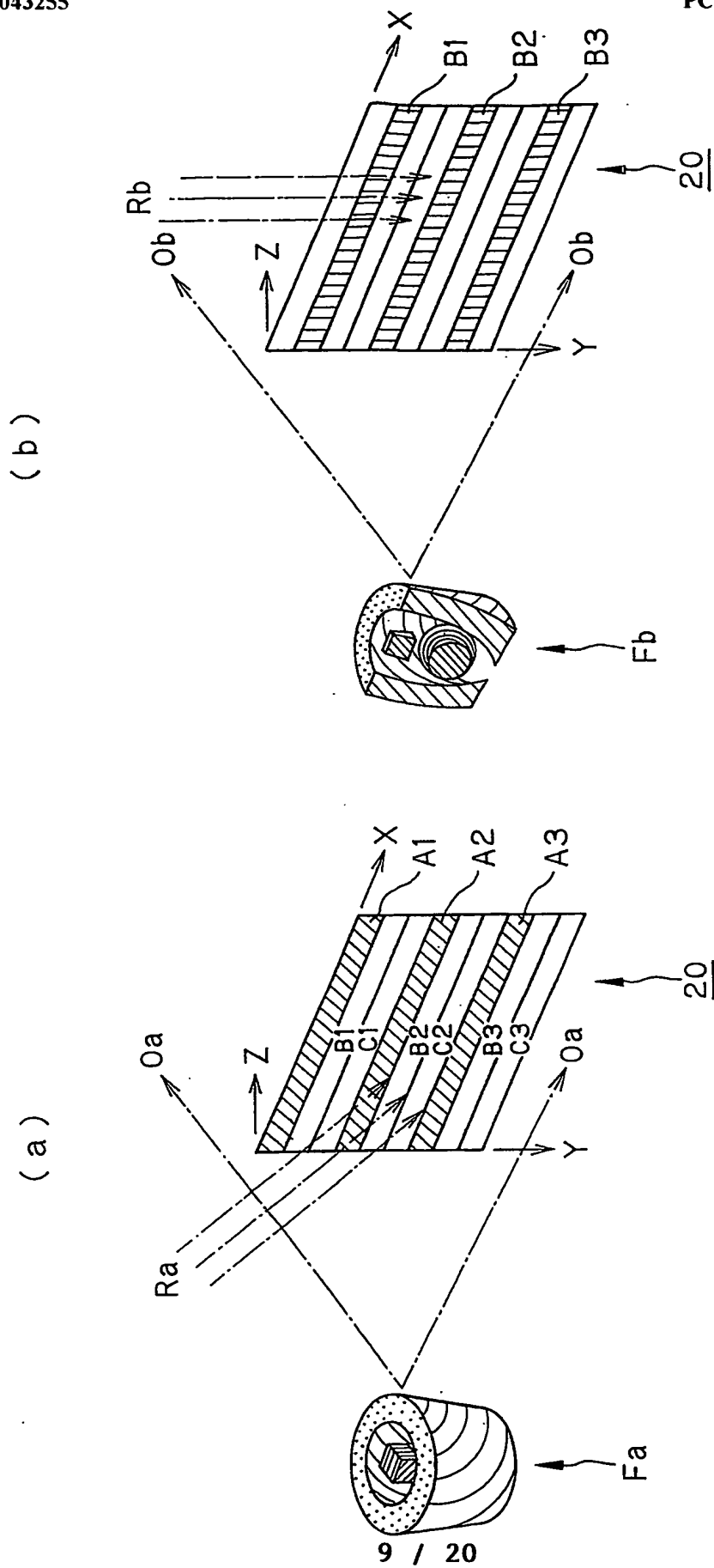
A1	(Ga)
B1	(Gb)
C1	(Gc)
A2	(Ga)
B2	(Gb)
C2	(Gc)
A3	(Ga)
B3	(Gb)
C3	(Gc)

X

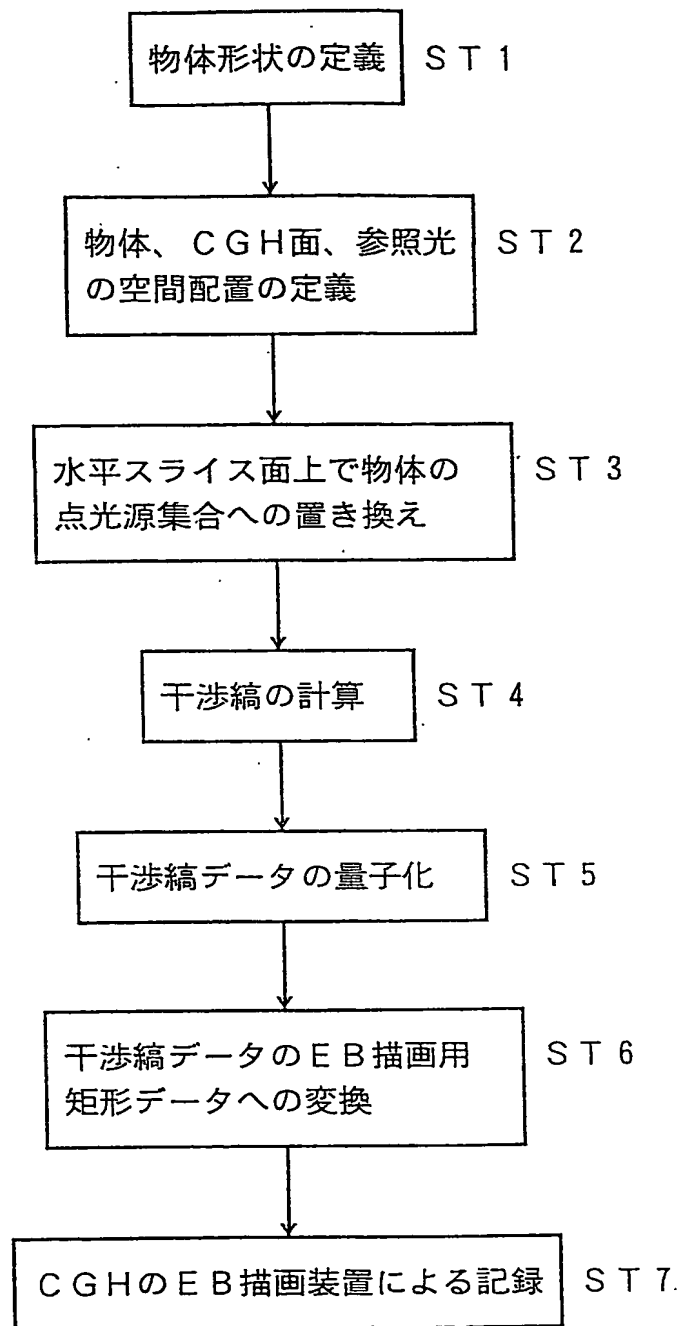
Y

h

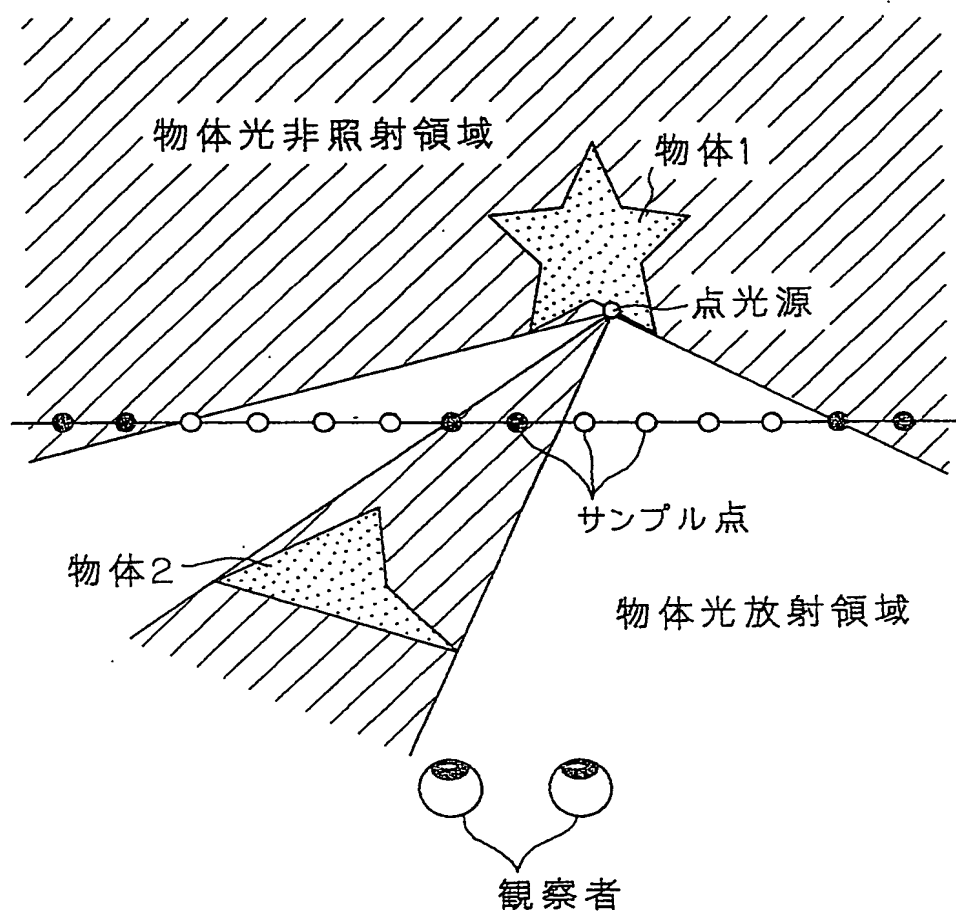
第九圖



## 第 10 図

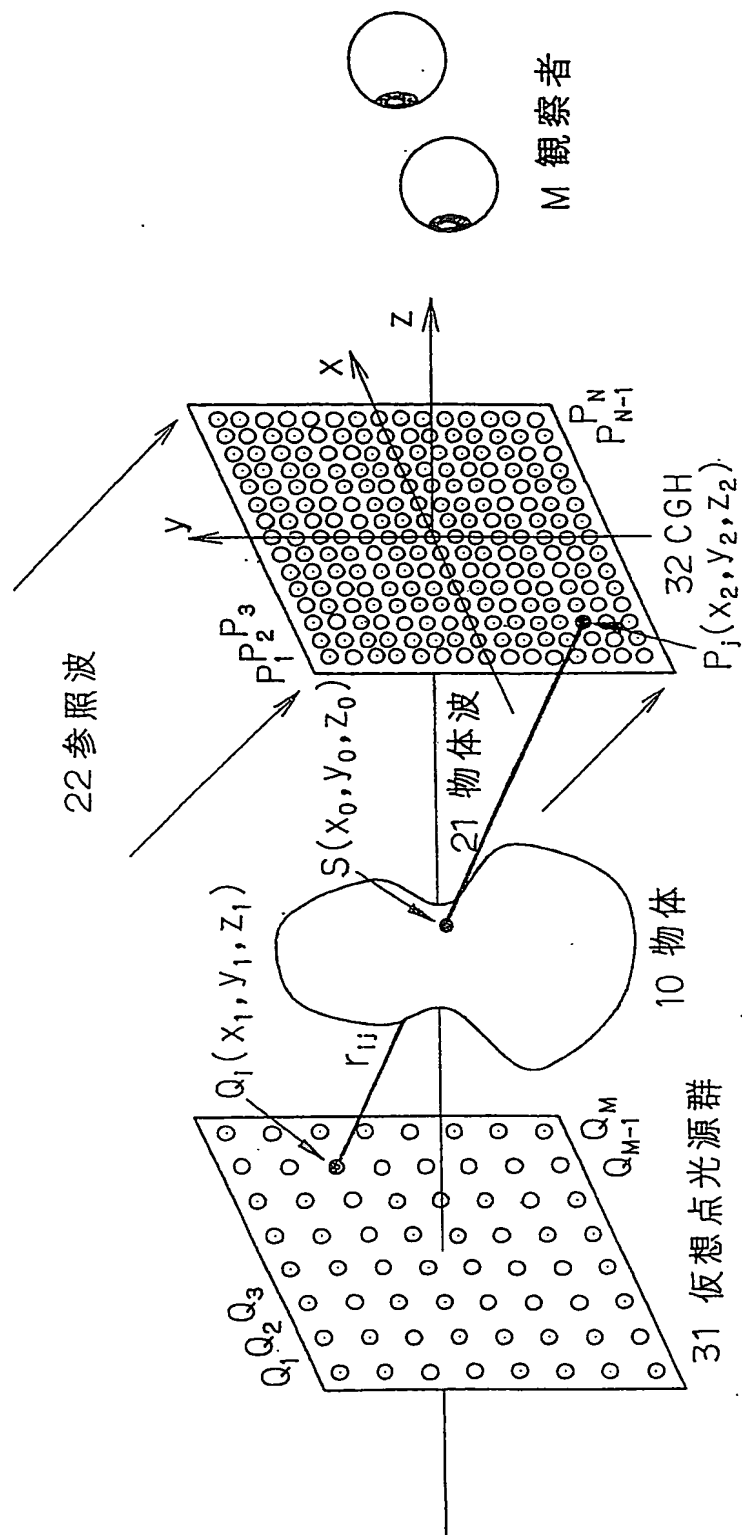


第 1 1 図

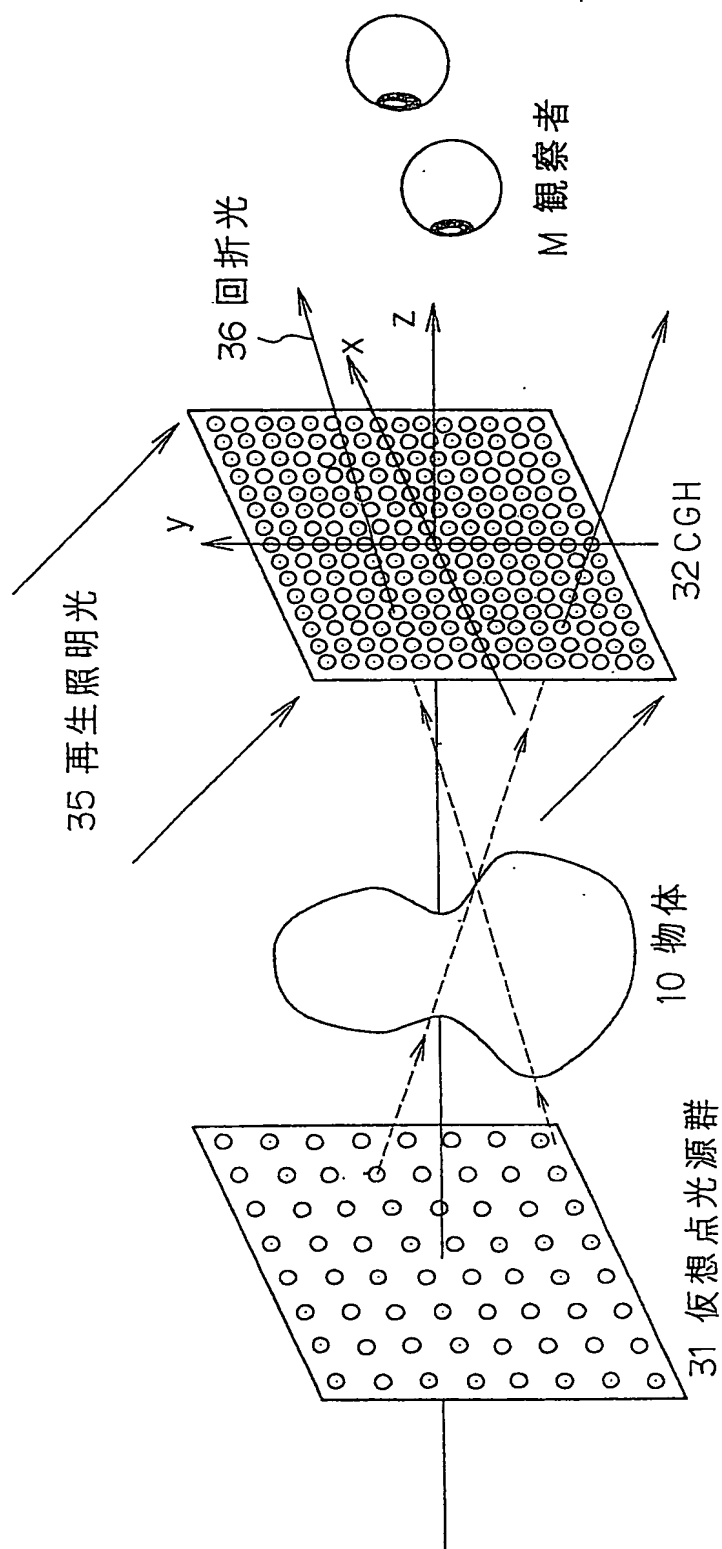




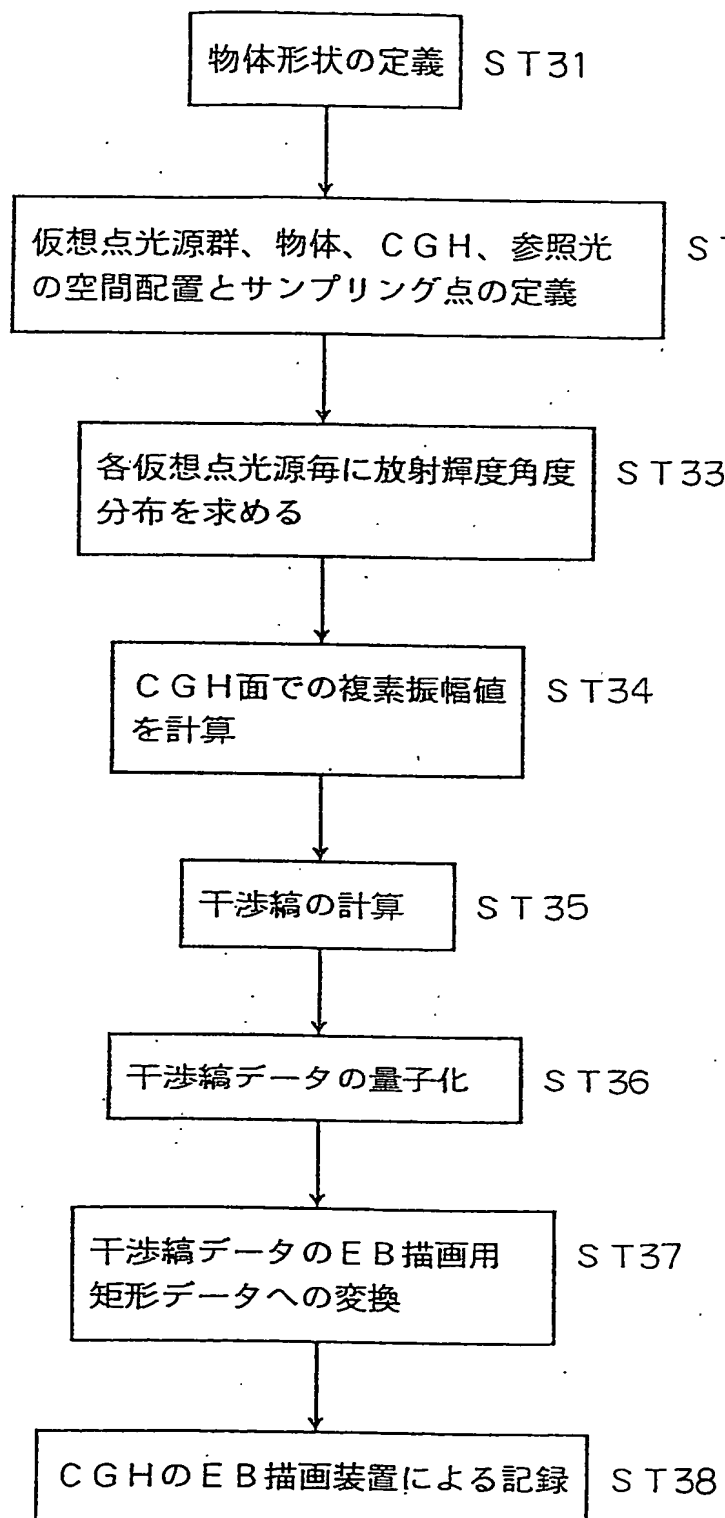
第 1 2 図



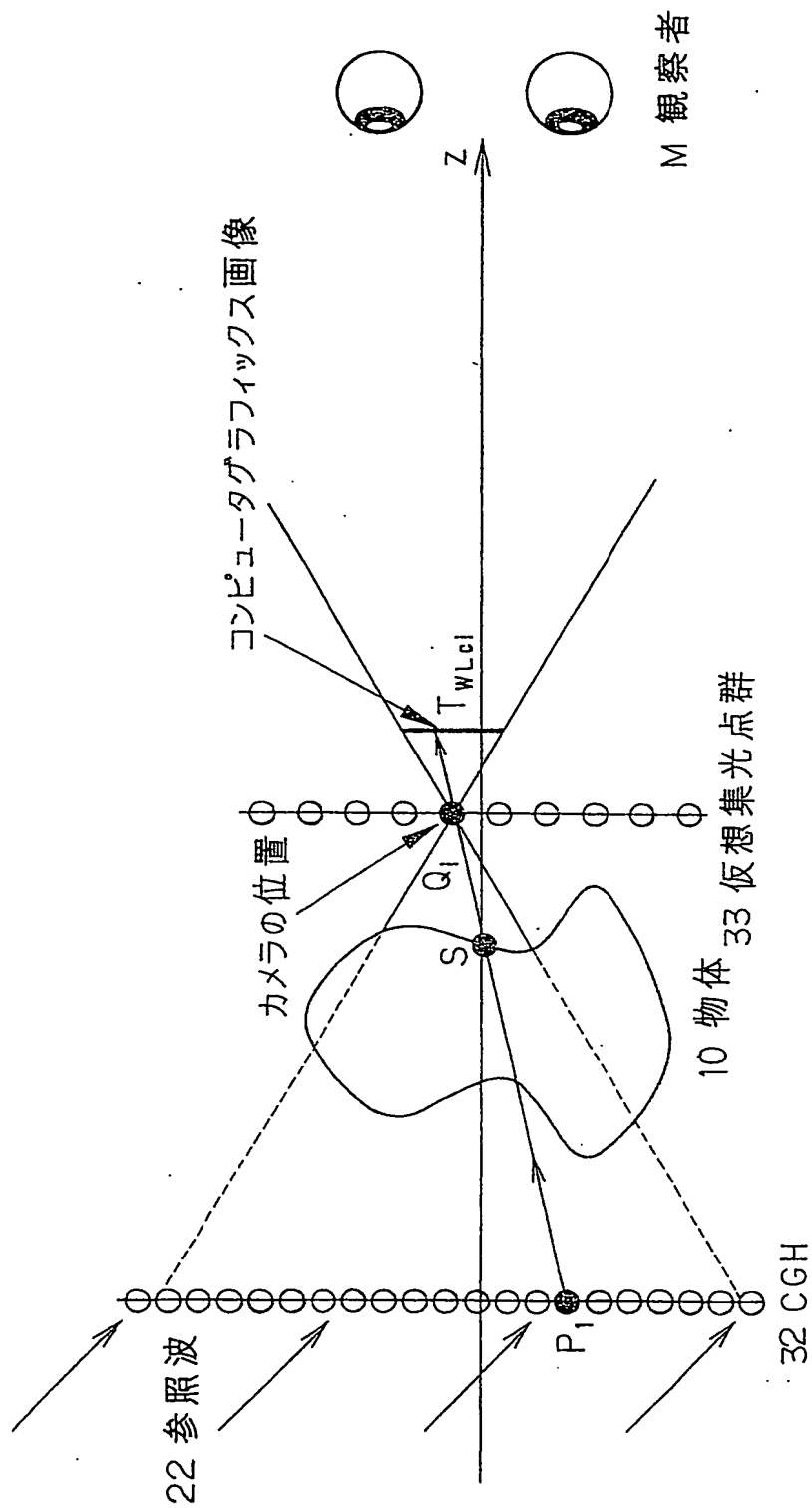
第 1 3 図



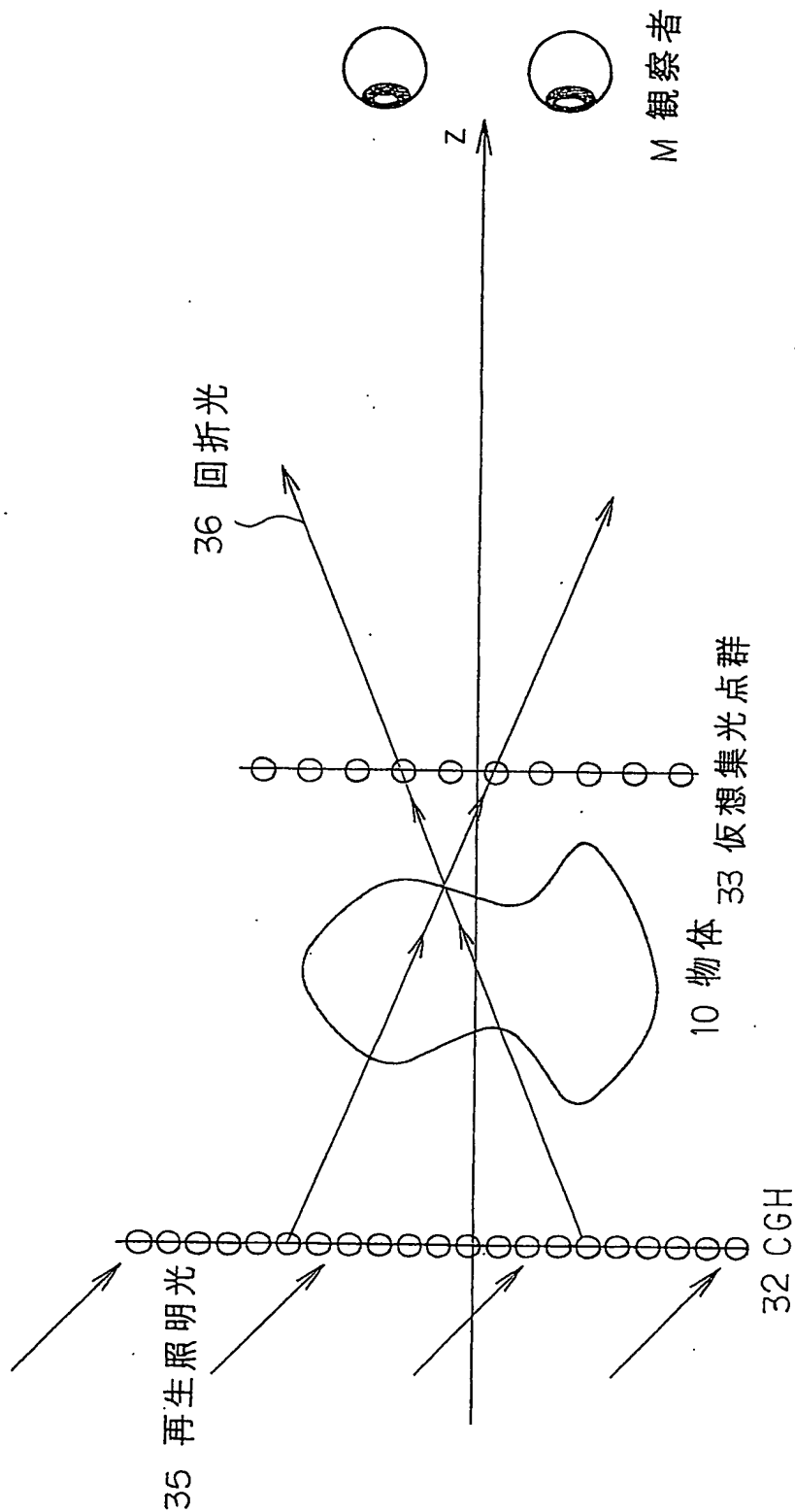
## 第 1 4 図



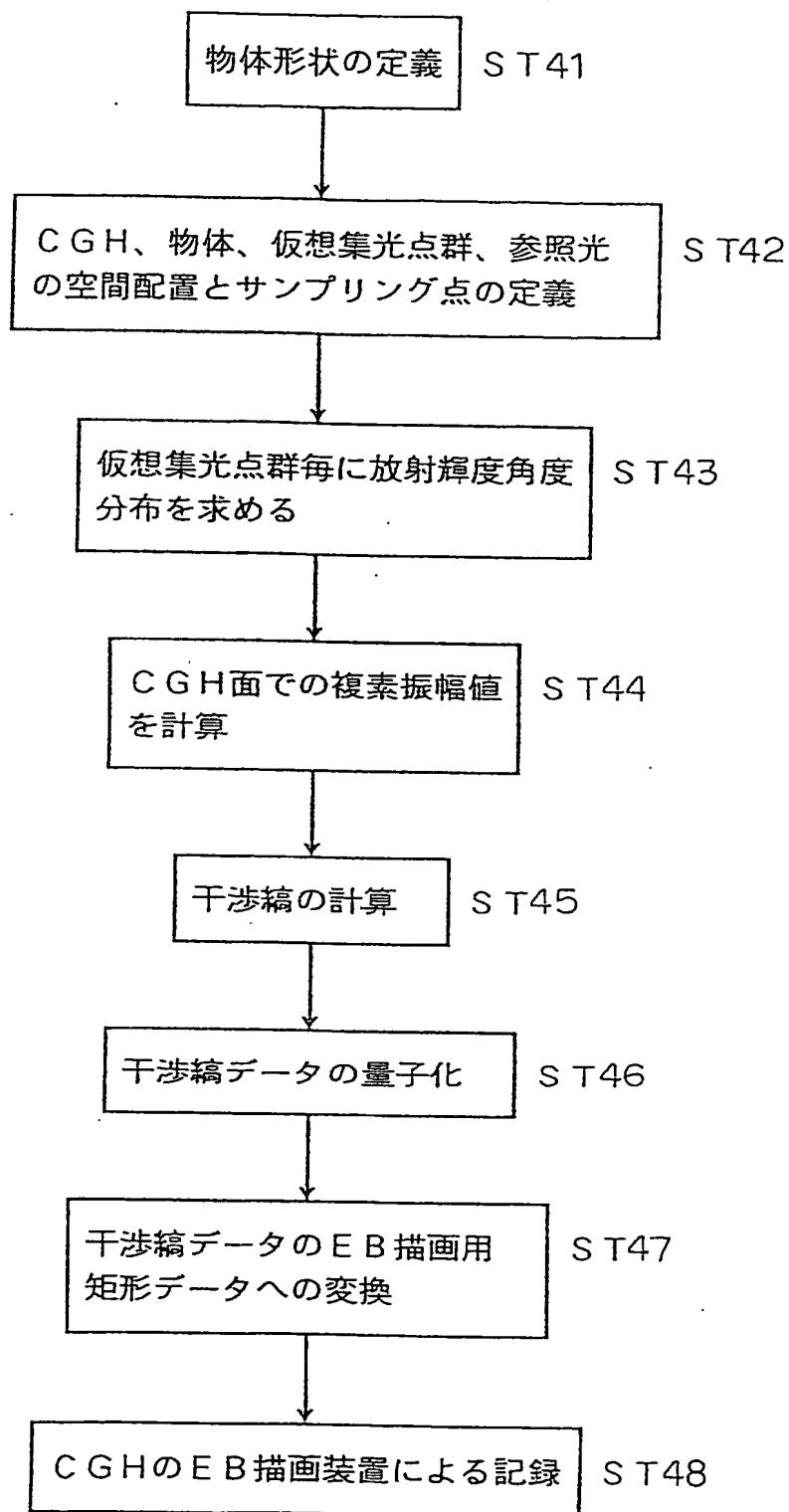
第 15 図



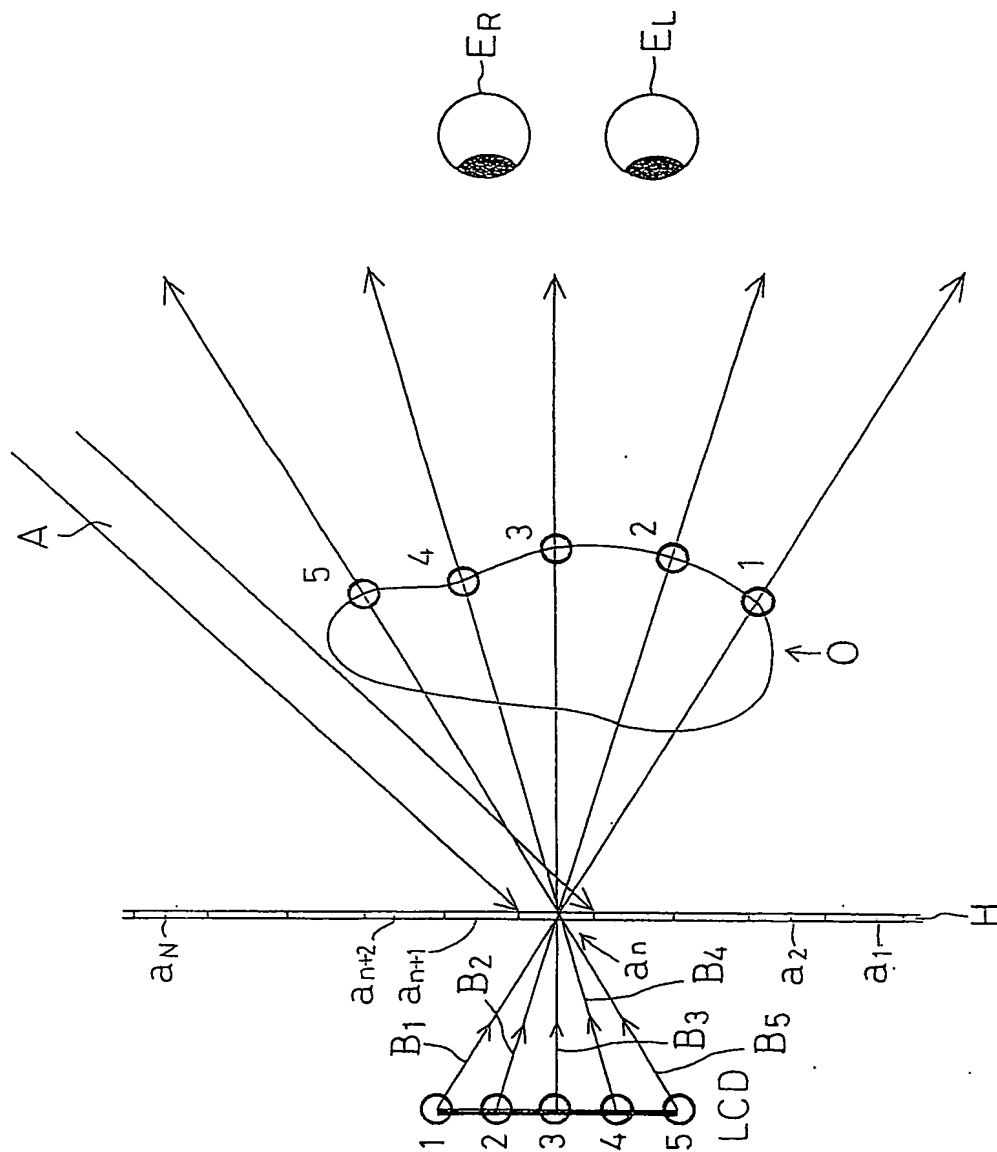
第16図



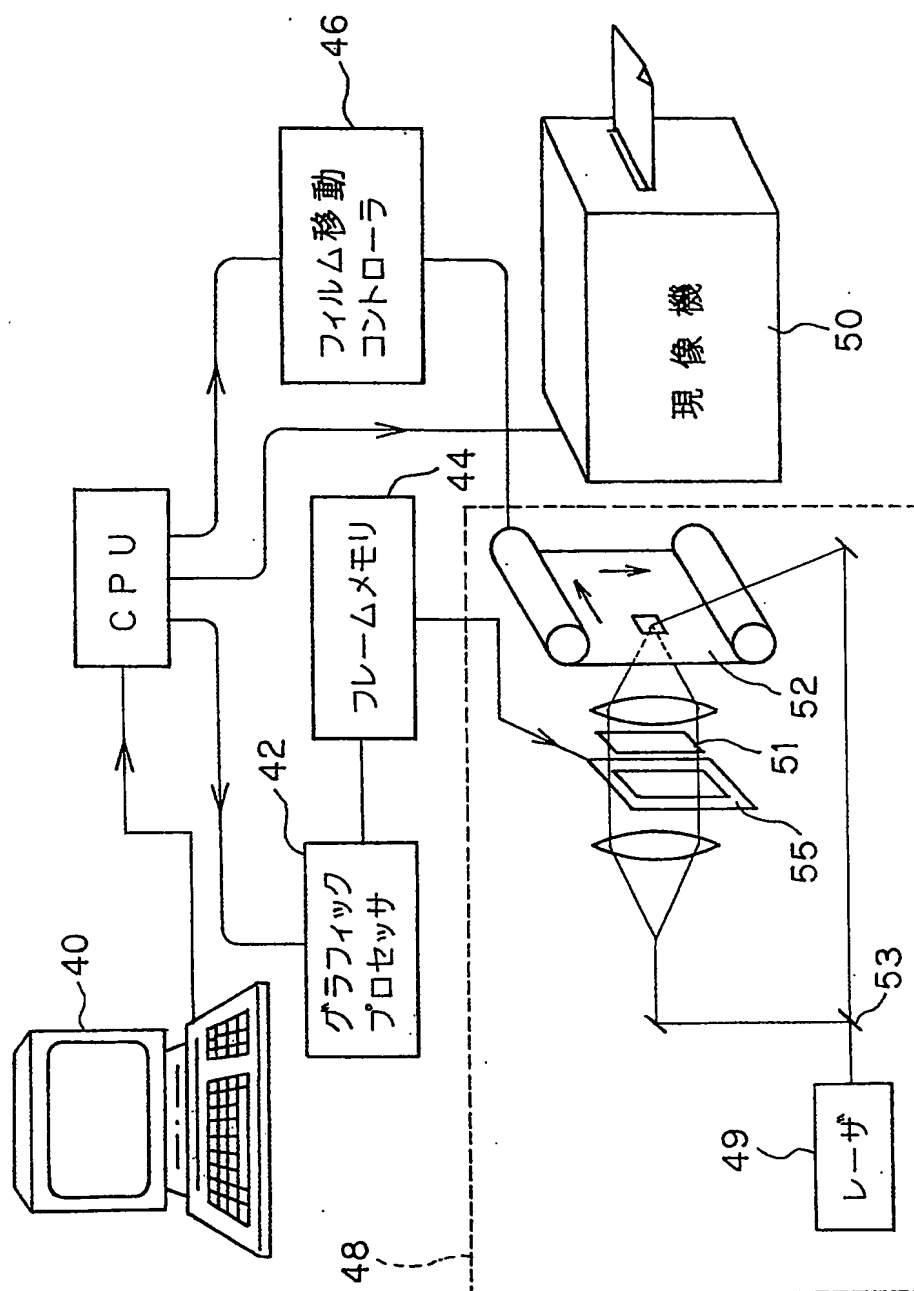
## 第 17 図



第18図

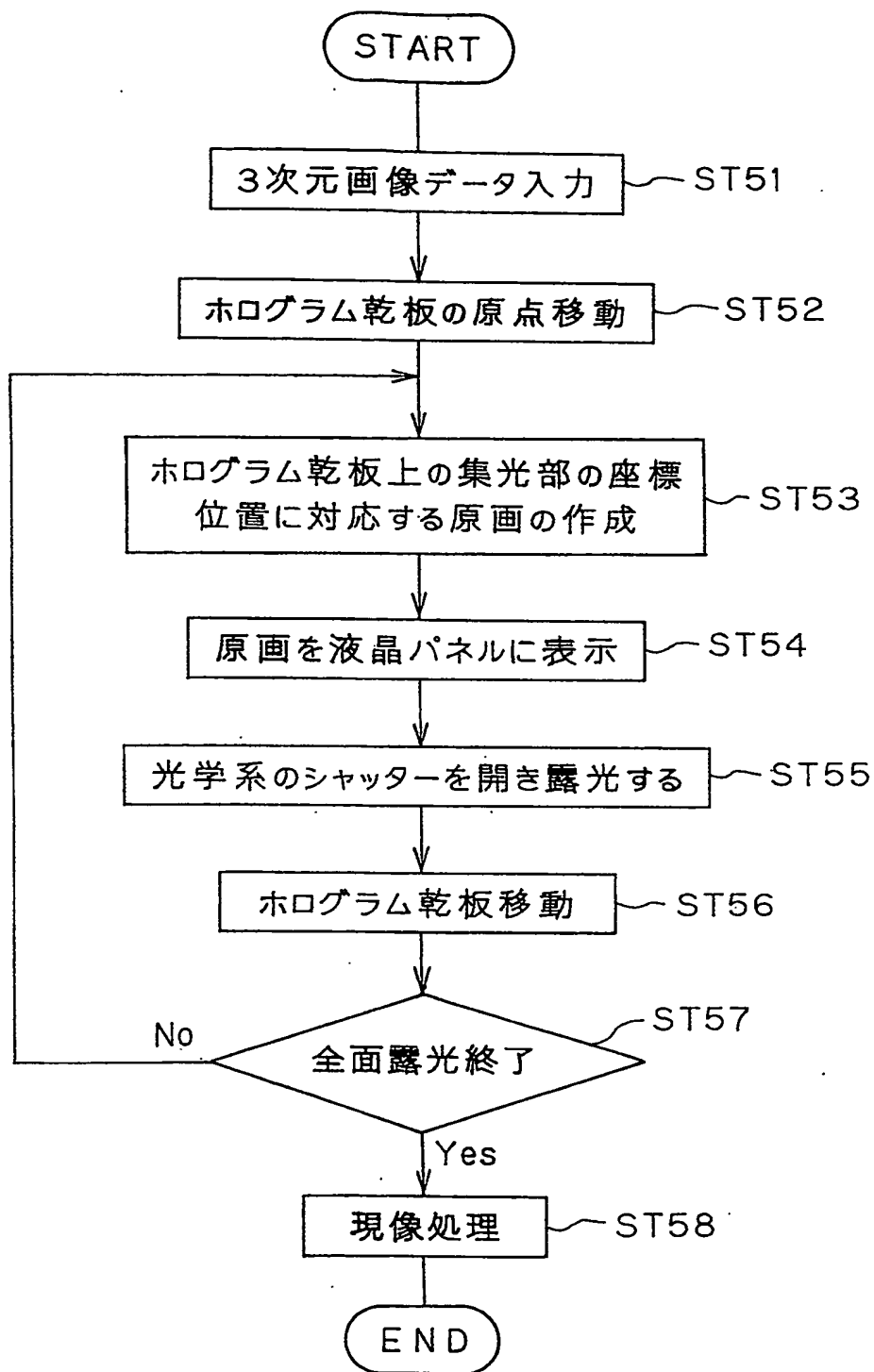


第19図





第 20 図



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/016711

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> G03H1/08, G06T15/00, G06T17/40

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> G03H1/08, G06T15/00, G06T17/40

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 59-60680 A (Tokyo Shibaura Electric Co., Ltd.), 06 April, 1984 (06.04.84), Full text; all drawings (Family: none)	1-16
Y	JP 2003-186378 A (Dainippon Printing Co., Ltd.), 04 July, 2003 (04.07.03), Full text; all drawings & US 2003/0151784 A1 & EP 1484652 A1	1-16
Y	JP 2001-109362 A (Dainippon Printing Co., Ltd.), 20 April, 2001 (20.04.01), Full text; all drawings (Family: none)	6, 7

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date  
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)  
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone  
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art  
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
03 February, 2005 (03.02.05)

Date of mailing of the international search report  
01 March, 2005 (01.03.05)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2004/016711

**C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 7-261649 A (Dainippon Printing Co., Ltd.), 13 October, 1995 (13.10.95), Full text; all drawings (Family: none)	10-16

## 国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP2004/016711

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G03H1/08, G06T15/00, G06T17/40

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G03H1/08, G06T15/00, G06T17/40

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2004年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2004年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 59-60680 A (東京芝浦電気株式会社) 1984. 04. 06, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-16
Y	JP 2003-186378 A (大日本印刷株式会社) 2003. 07. 04, 全文, 全図 & US 2003/0151784 A1 & EP 1484652 A1	1-16

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献  
 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

03. 02. 2005

国際調査報告の発送日

01. 3. 2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
 郵便番号 100-8915  
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

山村 浩

2V

9219

電話番号 03-3581-1101 内線 3271

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	J P 2001-109362 A (大日本印刷株式会社) 2001. 04. 20, 全文, 全図 (ファミリーなし)	6, 7
Y	J P 7-261649 A (大日本印刷株式会社) 1995. 10. 13, 全文, 全図 (ファミリーなし)	10-16